

101  
24



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**INNOVACION TECNOLOGICA DE UN ARBOL DE LEVAS  
MECANICO POR UN CONTROL ELECTRONICO  
PARA EL S.T.C. (METRO).**

**TESIS PROFESIONAL**

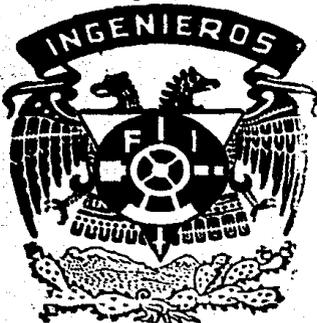
**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A N**

**JORGE RODRIGUEZ CUEVAS  
RUBEN M. ROLDAN CHAVEZ**

**DIRECTOR: ING. EDUARDO RAMIREZ SANCHEZ**

**MEXICO, D. F.**

**1987**





## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## INDICE

	Pág.
Introducción	3
<b>Capítulo 1</b>	
Generalidades	6
1.1 Explicación del sistema actual	6
1.2 Mandos generales de conducción	7
1.3 Grupo tracción-frenado	12
<b>Capítulo 2</b>	
Ubicación del proyecto dentro del sistema	24
2.1 Partes constitutivas del combinador	24
2.2 Principio de funcionamiento del combinador	26
2.3 Estudio de los distintos dientes del combinador	28
2.4 Mando del combinador tracción-frenado TF	31
2.5 Mando del combinador de inversión	35
<b>Capítulo 3</b>	
Diseño del control electrónico	39
3.1 Generalidades	39
3.2 Bloque de memoria	40
3.3 Circuito para posicionar cada una de las localidades	45
3.4 Circuito detector de los comandos del manipulador	49
3.5 Circuito de iluminación para las foto-resistencias	55
3.6 Lógica para detectar los cambios de posición T-F, F-T y adelante-atrás, atrás-adelante	63
3.7 Circuito de salida para accionar los ruptores	70
3.8 Fuente de alimentación	78

**3.9 Cálculo y selección de los disipadores adecuados 82**

**Capítulo 4**

**Montaje 97**

**4.1 Diseño del circuito impreso 97**

**4.2 Ubicación de los disipadores 103**

**4.3 Ubicación del sensor óptico 105**

**4.4 Localización del detector del diente cero 107**

**Capítulo 5**

**Conclusiones 110**

**Anexos 114**

**Bibliografía 118**

**I N T R O D U C C I O N**

El sistema de transporte colectivo metro (STC) es una empresa descentralizada que proporciona transporte masivo a la capital de la república, constituyendo la columna vertebral del transporte urbano. Diariamente transporta aproximadamente a cuatro millones y medio de personas. Esta condición hace que el equipo del sistema sea empleado a su máxima capacidad.

La complejidad e importancia del sistema, así como su uso constante, lo hace vulnerable a un desgaste continuo. Este desgaste se refleja tanto en la apariencia física de los vagones como en el deterioro de las piezas más insignificantes.

Las piezas que sufren mayor desgaste son los dispositivos electromecánicos, que constituyen una gran parte del sistema.

Como sabemos, el STC (metro) fué construido con tecnología francesa, de tal manera que en ese aspecto somos dependientes del extranjero. Esta situación se torna desfavorable para nosotros cuando llega a fallar algún dispositivo, ya que para su sustitución tenemos que importar estos insumos.

La actual crisis económica del país hace que la adquisición de partes en el extranjero se haga cada vez más difícil. Sin embargo, lo más grave es que muchas de estas partes ya no se fabrican ni en Francia.

Este problema nos ha obligado a buscar nuevas alternativas en la sustitución de partes de importación. Con este tipo de acciones se ha fomentado el diseño y fabricación de dispositivos con tecnología e integración nacional.

Un caso específico de esta situación es el controlador de levas del sistema JH (Jeumont - Heidmann).

**C A P I T U L O 1**

## GENERALIDADES

### 1.1 EXPLICACION DEL SISTEMA ACTUAL.

Para ubicar nuestro proyecto dentro del sistema en general, se hace necesario explicar brevemente el funcionamiento del sistema de una manera global.

Un tren del STC (metro), consta de nueve carros, de los cuales dos son motrices con cabina (motriz M), cuatro motrices sin cabina (motriz N) y tres carros remolque (carro R). Esta disposición se observa en la figura 1.1.



Figura 1.1 Disposición de los carros en un tren del STC (metro).

Cada motriz M o N posee cuatro motores, en dos carretillas bimotoras, donde la corriente de tracción es distribuida bajo una tensión nominal de 750 Volts de C.D. Los motores pueden ser acoplados en serie o en serie-paralelo. Los dos motores de una misma carretilla están siempre conectados en serie, de tal manera que en el acoplamiento serie-paralelo cada motor está sometido a la mitad de la tensión nominal de 750 V. Ver figura 1.2.

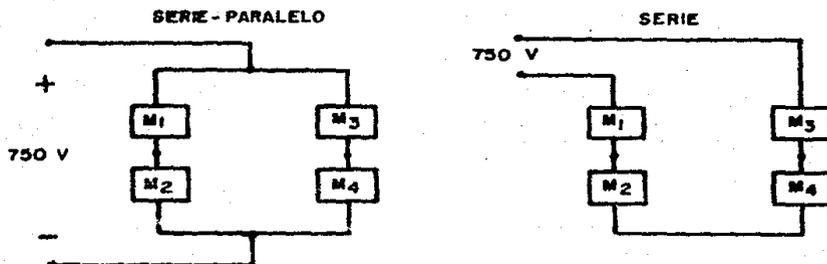


Figura 1.2 Conexiones de los motores en una motriz.

Los cuatro motores de una misma motriz son controlados por un mismo circuito de mando local alimentado en baja tensión.

Por lo que se refiere a los carros remolque, estos contienen los equipos auxiliares tales como las baterías, los compresores y equipo en general que sirve de complemento a las motrices.

## 1.2 MANDOS GENERALES DE CONDUCCION.

Los circuitos de conducción se encargan del control de los equipos de tracción y de los equipos de frenado. Estos circuitos son puestos en servicio por un conmutador C y mandados por el manipulador M o por el pilotaje automático PA.

## FUNCIÓN DEL MANIPULADOR M.

El manipulador de la cabina en servicio le permite al conductor, cuando se cumplen ciertas condiciones, tener el mando de tracción y de frenado del tren, de la siguiente manera :

### a) Tracción.

El mando de los circuitos de tracción de todas las motrices se obtiene accionando la manivela del manipulador hacia adelante. Ver figura 1.3 .

El manipulador posee cinco grados de tracción :

- T1 Maniobra
- T2 Serie con excitación plena
- T3 Serie con excitación reducida
- T4 Serie-paralelo con excitación plena
- T5 Serie-paralelo con excitación reducida

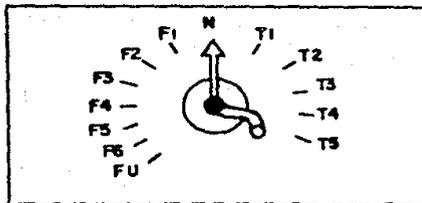


Figura 1.3 Vista superior del manipulador en la cabina de mando.

b) Frenado.

El mando de los circuitos de frenado de todas las motri--ces se obtiene accinando la manivela del manipulador hacia atrás. Ver figura 1.3.

El manipulador posee seis grados de frenado, de F1 a F6 y un grado de frenado de urgencia, que es superior al grado F6 y se denomina FU.

c) Seguridad.

El manipulador tiene un resorte de retroceso, que lo lleva a una posición de frenado si es dejado libre sobre una posición de tracción.

Esto permite que el tren permanezca bloqueado en ausencia del conductor.

**MANDO GENERAL EN PILOTO AUTOMATICO PA.**

En esta forma de mando, el tren es manejado desde una cabina central. Las ordenes son enviadas a través de la barra gufa (barra lateral de alto voltaje) y recibidas por el tren por medio de unas escobillas colectoras. La información que viaja en la barra gufa es de 23 KHz.

En estas condiciones el control del tren es asumido por el piloto automático, y el único mando en el manipulador que puede efectuar el conductor es el frenado de urgencia FU.

La posición de los aparatos en servicio, en la cabina de mando, para asumir éste tipo de conducción es :

- Conmutador C en la posición PA.
- Manipulador M en otra posición que no sea FU.

#### CONDUCCION MANUAL CONTROLADA CMC.

En esta condición, el mando del tren es asumido por el conductor en la motriz de conducción, y el piloto automático hará una vigilancia continua de la marcha, teniendo así una seguridad cercana a la que se tiene en conducción por pilotaje automático.

En caso de que el conductor sobrepase la velocidad autorizada en el programa, o que se pierda la captación de señales entre el tapiz de la vía y el tren, se mandará el paro de éste con un frenado FU.

La posición del conmutador C en la cabina de mando, para éste tipo de conducción es CMC.

#### CONDUCCION MANUAL LIMITADA CML.

En éste tipo de conducción, los mandos del tren son tomados por el conductor por accionamiento del manipulador, y el piloto automático limitará la velocidad por zonas a 25 o 50 Km/h , según reciba una señal del tapiz (15 Km/h en vía equipada de paro automático).

En caso de que se sobrepase la velocidad permitida, o que se pase un semáforo en rojo o que se pierda la captación de señales de la vía y el tren, se mandará el paro del tren con un frenado FU, por medio del equipo de P.A. (cortando la señal de 23 KHz).

La posición de los aparatos en servicio, en la cabina de mando, para asumir éste tipo de conducción es :

- Conmutador C en posición CM.

- Llave D en la posición "Interruptores Automáticos" (Disyuntores).

#### CONDUCCION MANUAL RESTRINGIDA CMR.

Este tipo de marcha se efectua cuando se pierde todo enla ce entre el tren y la señal de la vía y la conducción CML no es posible.

En este modo de conducción el tren funciona con los man-- dos de tracción y frenado desde el manipulador y se tiene un límite de velocidad de 35 Km/h , sin haber ninguna acción en caso de franqueamiento de semáforos.

Si se sobrepasa la velocidad límite, se tendrá un frenado FU, mandado por el PA.

Cuando se reanuda la captación de la señal de la vía se inhibirá el modo CMR y podrá avanzar el tren en CML.

La posición de los aparatos en servicio, en la cabina de mando, para asumir éste tipo de conducción es :

- Conmutador C en posición CM.
- Llave D en la posición "Interruptores Automáticos" (Disyuntores).
- Llave DN se mantiene en la posición "Conducción Res-tringida".

#### CONDUCCION LIBRE CLT2.

Este tipo de marcha se limita unicamente al esfuerzo de tracción de T2 y a la velocidad de 35 Km/h , sin otro disposii tivo de seguridad.

O sea que se prohíbe un grado de tracción superior a T2.

La posición de los aparatos en servicio, en la cabina de mando, para asumir éste tipo de conducción es :

- Conmutador C en la posición CM.
- Conmutador de conducción libre KCL en posición CL.
- Llave VR en la posición "Adelante" o "Atrás", según se requiera.
- Llave D en la posición "Interruptores Automáticos" (Disyuntores).

### 1.3 GRUPO TRACCION-FRENADO.

El equipo MP-68 cuenta con motores de tracción con devanados del inducido tipo serie, los cuales se caracterizan por tener un gran par de arranque.

Al momento del arranque proporcionan un par constante, y después de este, disminuye su valor; la velocidad tiene una característica inversa al par.

Para lograr tales características, es preciso contar con un adecuado control de velocidad de los motores, y para éste equipo se realiza de tres formas:

- Control de velocidad por voltaje.
- Control de velocidad reostático.
- Control de velocidad por reducción del campo de excitación.

De la expresión general de la velocidad (1) se observan los tres parámetros con los que podemos hacer variar la velocidad ( $V$ ,  $R_r$  y  $\Phi$ ).

$$N = \frac{V - (R_a + R_r) I}{K\Phi} \quad (1)$$

- N : Velocidad.  
 V : Voltaje.  
 R<sub>a</sub> : Resistencia de armadura.  
 R<sub>r</sub> : Resistencia del reostato.  
 I : Corriente de armadura.  
 K : Constante del motor.  
 Φ : Flujo magnético.

a) Control de velocidad por voltaje.

Consiste en aplicar a los motores un voltaje menor que el voltaje nominal, con lo que se tiene una familia de curvas, en el plano par-velocidad como se muestra en la figura 1.4.

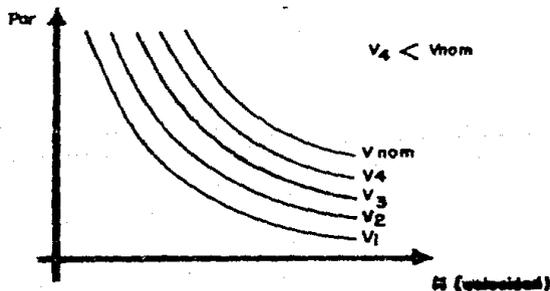


Figura 1.4 Curvas par-velocidad para el control de velocidad por voltaje.

Permitiendo de esta forma variar la velocidad de los motores. Este método de control es bueno desde el punto de vista energético, dado que no hay disipación de energía en un reóstato.

Para el equipo MP-68 éste tipo de control se realiza por medio del combinador de arranque JH. En el arranque se tienen los cuatro motores de una motriz conectados en serie, aplicando en sus bornes una cuarta parte de la tensión nominal. Las posiciones del manipulador en las cuales prevalece esta conexión del circuito de potencia son : T1, T2 y T3.

Para T4 y T5, el combinador JH cambia la conexión del circuito de potencia a serie-paralelo; teniéndose en los bornes de cada motor la mitad de la tensión nominal. Entonces la gráfica par-velocidad es como se muestra en la figura 1.5.

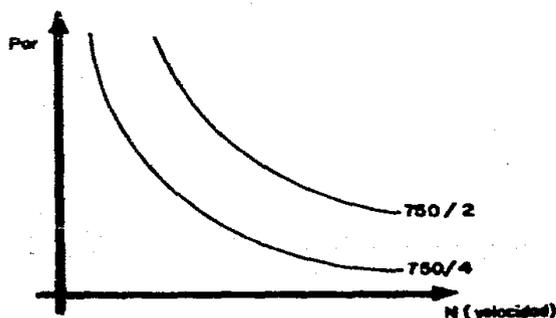


Figura 1.5 Curvas par-velocidad.

Se puede observar que si se tuviera solamente este control, se tendría un cambio muy brusco de velocidad; con el fin de evitar esto, se efectuó también el control reostático.

#### b) Control de velocidad reostático.

Este tipo de control, se realiza con la finalidad de hacer variar la velocidad en forma suave y controlada.

Consiste en tener constante el campo de excitación ( $\Phi$ ) de los motores, así como el voltaje aplicado a ellos; y conectar un reóstato variable en serie con los cuatro motores.

Al aumentar la velocidad del motor se hace disminuir el valor óhmico del reóstato, por medio del combinador de arranque JH.

El control de la velocidad en forma suave, radica principalmente en el número de pasos en su resistencia que tenga el reóstato. Para el equipo MP-68 el reóstato varía del valor máximo al mínimo, en quince pasos en conexión serie y doce en paralelo.

En la gráfica par-velocidad que se muestra en la figura 1.6, se puede observar que en este tipo de control se regulan las variaciones del reóstato mediante los dispositivos de : Tiempo (cronometría) y Corriente (amperimetría).

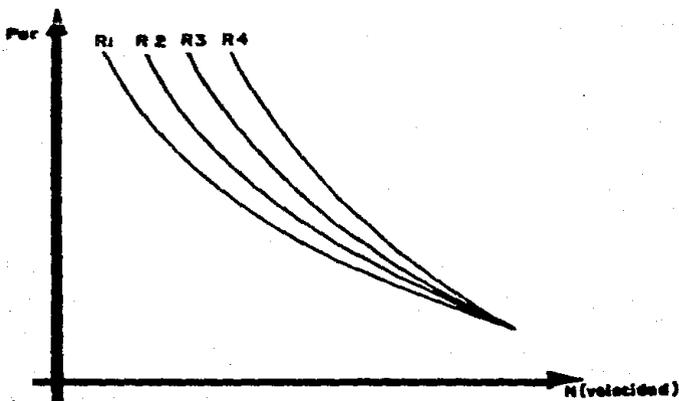


Figura 1.6 Curvas par-velocidad para el control de velocidad reostático.

i) Cronometría : Cuando el tren circula con poca carga, éste tipo de regulación es aplicada debido a que la corriente en los motores no es susceptible de aumentar en forma anárquica. Y consiste en la variación del reóstato en cada uno de sus pasos, de acuerdo a una temporización determinada de antemano.

ii) Amperimetría : Esta se aplica cuando el tren circula con una carga considerable, ya que en estas condiciones la corriente en los motores puede variar bruscamente. Pudiéndose entonces controlar la corriente en un rango determinado de antemano :  $I_{\min} \leq I \leq I_{\max}$ , debido que al momento de una variación del reóstato se tiene una variación de corriente, como se muestra en la ecuación (2).

$$I = \frac{V - f_{cem}}{R_a + R_r} \quad (2)$$

La gráfica corriente-tiempo se muestra en la figura 1.7.

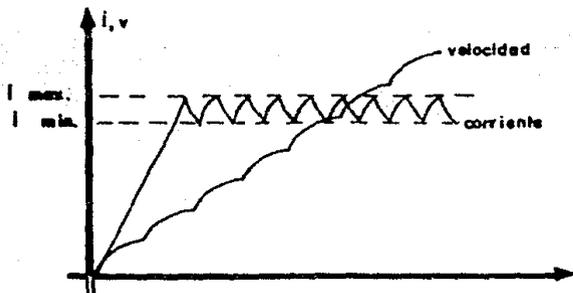


Figura 1.7 Curva corriente-tiempo.

c) Control de velocidad por reducción del campo de excitación.

Es importante hacer notar que un motor siempre debe absorber de la fuente una corriente elevada durante su arranque, que le permite llevar hasta la velocidad nominal la masa del tren que inicialmente está en reposo.

En estas condiciones y en virtud a la relación  $T = K\Phi I$  ( $T$  : par), tenemos siempre que proporcionar el flujo máximo durante el arranque, pero una vez alcanzada la velocidad nominal, es posible reducir el flujo, insertando en el circuito de los inductores de los motores un reóstato de campo, acompañado en la mayoría de las veces de una inductancia denominada "Shunt inductiva", la cual tiene efectos de estabilización de corriente.

Con la reducción del campo de excitación se tienen características par-velocidad como lo muestra la figura 1.8.

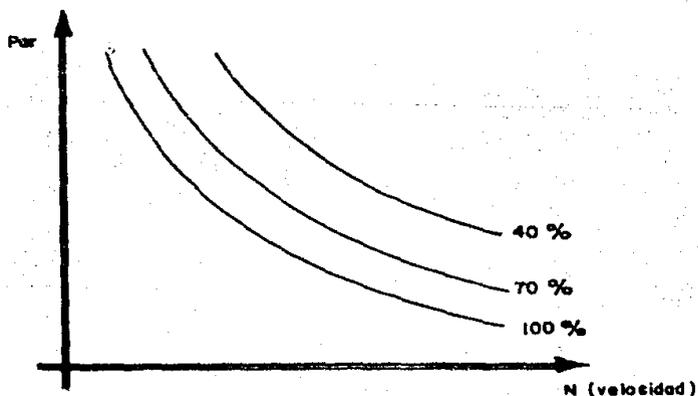


Figura 1.8 Curva par-velocidad para el control de velocidad por reducción del campo de excitación.

La reducción del campo de excitación, generalmente expresado como una "tasa de reducción de campo" en porciento, como lo expresa la ecuación (3).

$$\frac{\alpha}{100} = \frac{I - i}{I} \quad (3)$$

donde :

$\alpha$  : Tasa de reducción de campo.

$I$  : Corriente de armadura.

$i$  : Corriente en los inductores.

Un esquema representativo de la reducción de campo es mostrado en la figura 1.9.

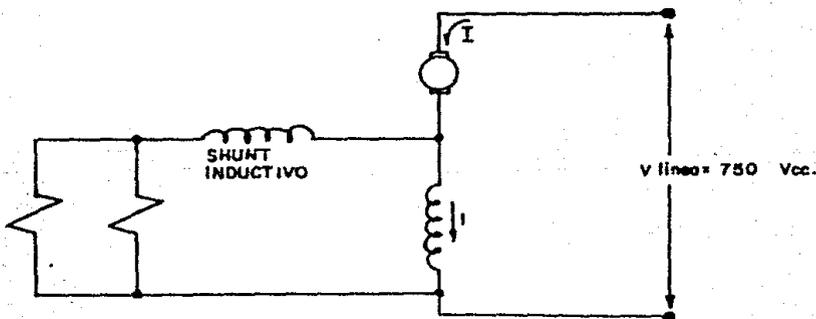


Figura 1.9 Esquema de reducción de campo.

En el equipo MP-68 se tiene una reducción en el campo de excitación para las posiciones del manipulador T3 y T5.

## FUNCIONAMIENTO EN FRENADO.

El frenado del tren se realiza de la siguiente manera :

### a) Frenado reostático en servicio.

- Los grados F1 a F3 son asegurados por el frenado reostático en los carros motrices y por el frenado neumático en los carros remolque.
- Los grados F4 a F6 son asegurados, por una parte, por el frenado reostático de las motrices correspondiente a un grado F3, y por otra parte, por un complemento de frenado neumático con el fin de obtener el esfuerzo de frenado solicitado.

Los remolques frenan al grado solicitado únicamente por el frenado neumático. La presión correspondiente es aplicada sobre los cilindros de freno de las motrices y de los remolques.

### b) Frenado reostático fuera de servicio.

Aquí todos los grados de frenado son realizados por el frenado neumático, siendo un caso particular el de la "sustitución".

La sustitución es la operación automática que consiste en suprimir el frenado reostático cuando la velocidad del tren es inferior a 12 Km/h , reemplazándolo por el frenado neumático.

Existe además el frenado regenerativo, en el que los generadores entregan su voltaje a la línea . Para que se de este frenado se debe cumplir que el voltaje generado sea mayor al voltaje de línea, es decir  $V_G > V_L$ . Por lo que al inicio el par de motores están conectados en paralelo y cuando  $V_G = V_L$

se conectan en serie para asegurar la condición  $V_G > V_L$ . En la figura 1.10 se muestra la conexión de los motores en los tipos de frenado.

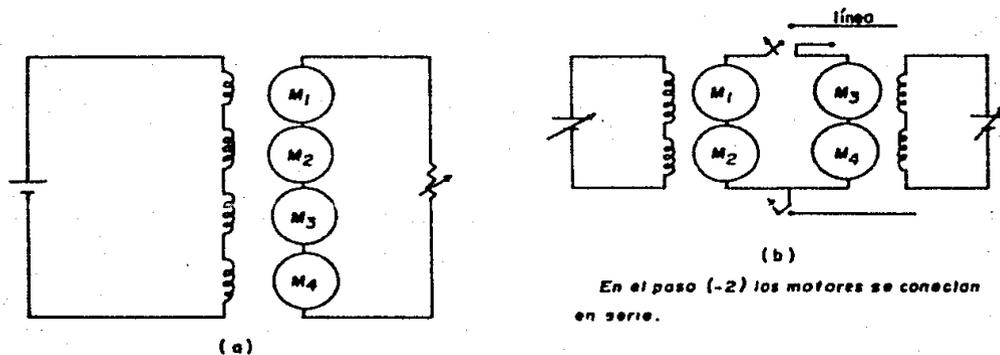


Figura 1.10 Tipos de frenado. (a) Frenado reostático;  
(b) Frenado regenerativo.

#### EQUIPO DE TRACCION JH.

El equipo de tracción JH inherente al circuito de potencia, controla el grupo de cuatro motores de una motriz, realizando el programa siguiente, en todos los mandos de conducción.

- a) Arranque reostático : Al comandar un grado de tracción, ya sea: maniobra, serie o serie-paralelo, dicho arranque se lleva a cabo automáticamente bajo el control cronoperimétrico.
- b) Paso de una marcha a otra : Tanto en progresión como en regresión del JH.
- c) Frenado reostático : El cual es realizado con excitación separada de los motores de tracción, que actúan como ge

neradores durante el frenado y cuyo voltaje generado es disipado en el reóstato de arranque.

- d) Inversión del sentido de marcha : Este es realizado sólo cuando el tren está detenido o su velocidad es menor o igual a 1.5 Km/h . Y, en esencia, corresponde al cambio del sentido de circulación de la corriente en los inductores de los motores.
- e) Conmutación tracción-frenado : La conmutación tracción-frenado tiene como objeto preparar los circuitos de potencia para el frenado reostático, y se realiza al poner el manipulador en la posición de neutro o frenado, cuando la velocidad es superior a 12 Km/h .
- La conmutación frenado-tracción prepara los circuitos para la tracción y se efectúa cuando la velocidad se hace inferior a 12 Km/h , o si se manda un grado de tracción después del frenado.
- f) Apertura del circuito de tracción : Se efectúa por la regresión del combinador JH hasta el diente cero, mandada al colocar el manipulador en la posición de neutro. Esto constituye el corte normal de la alimentación de los motores de tracción.

#### COMBINADOR DE INVERSION DEL SENTIDO DE MARCHA.

El combinador de inversión comprende un árbol de levas que gira siempre en el mismo sentido y es accionado 1/8 de vuelta por medio de un acoplamiento con el árbol de levas del JH. El JH realiza el movimiento para los dientes 0, -1, -2, -1, 0 debiendo repetirse este movimiento una vez más para el material MP-68. Entonces el árbol del inversor gira 1/4 de vuelta en total y las levas permiten el cierre de los ruptores de tracción, ocasionando con esto el cambio del sentido de marcha.

El cilindro del servosistema del inversor está unido directamente al árbol de levas del JH.

#### COMBINADOR TRACCION-FRENADO (TF).

El combinador TF es idéntico al combinador de inversión del sentido de marcha, comprende un árbol de levas que gira siempre en el mismo sentido y es movido 1/4 de vuelta por un trinquete. El JH realiza el movimiento de los dientes 0, -1, 0 una sola vez.

El cilindro del servosistema del combinador TF está unido directamente al árbol de levas del JH.

Mediante esta pequeña introducción hemos pretendido dar una idea general de los grupos tracción-frenado y de inversión del sentido de marcha. Se involucraron además, aspectos generales sobre la disposición de los distintos equipos auxiliares.

La pregunta en este momento sería : ¿ En qué parte de este complejo sistema está ubicado nuestro proyecto ?

CAPITULO 2

## UBICACION DEL PROYECTO DENTRO DEL SISTEMA

En el capítulo anterior, se explicaron algunos aspectos del sistema en general. Ahora se ubicará nuestro proyecto dentro del sistema, detallando su funcionamiento y su relación con otras partes del sistema.

Dentro del equipo de tracción JH, que controla los cuatro motores de una motriz, se encuentra el combinador tracción---frenado y el combinador de inversión del sentido de marcha (que físicamente es el mismo dispositivo, pero que se tratan por separado por la función diferente que realizan). Estos dispositivos permiten el arranque de los motores, interconectando los distintos circuitos requeridos en cada una de las etapas (tracción, frenado, puenteo e inversión del sentido de marcha).

### 2.1 PARTES CONSTITUTIVAS DEL COMBINADOR.

El combinador JH, es un árbol de levas mandado por un servomotor eléctrico, conteniendo :

- a) Un árbol de levas.
- b) Un servomotor.
- c) Corona dentada (platillo P).
- d) Grupo de ruptores.

El equipo es fijado dentro de un cofre bajo la caja del carro por medio de cuatro suspensiones elásticas.

- a) Arbol de levas : Es un pequeño árbol de levas constituido por una barra de material sólido, sobre la cual están enfiladas y chaveteadas las levas, que en sí forman una

lógica que va accionando los distintos ruptores auxiliares en el momento adecuado.

- b) Servomotor : El servomotor eléctrico SME, es un motor de tipo compuesto que efectúa una revolución completa para que el combinador haga un punto.

El combinador puede girar en ambos sentidos (progresión y regresión), debido a la inversión de la corriente en el inducido. El inductor en paralelo, está montado en los bornes de un puente rectificador monofásico de tal manera que siempre es recorrido por una corriente en el mismo sentido.

La alimentación e interrupción de energía del servomotor se hace a través de dos tiristores que son manejados por un captor magnético.

El captor magnético (transformador de entrehierro variable), da la posición del equipo durante la ejecución de un punto y suministra la orden de alto a cada uno de ellos. La variación de flujo creada por la paleta móvil del captor genera un impulso en el secundario del transformador y con ello activa el tiristor de alto.

Por lo que se refiere a la ejecución de un punto, una vez que se ha escogido el sentido de rotación, se envían, con ayuda de un transistor uniunión, impulsos sobre la compuerta del primer tiristor que se vuelve conductor y alimenta al servomotor que empieza un punto.

- c) Corona dentada (platillo P) : Montada en la flecha del servomotor, existe una rueda dentada en la cual son talladas tantas ranuras radiales equidistantes como puntos a realizar. Se cuenta con treinta y cinco puntos del com-

binador, es decir, existen treinta y cinco posiciones las cuales son recorridas por el servosistema y en cada una el mando de cierre o apertura de los ruptores es diferente.

- d) Grupo de ruptores : El equipo contiene sesenta y cinco ruptores de 70 Volts a 0.5 Amperes, cuyo mando es hecho por el árbol de levas de los combinadores, y su movimiento está acorde con el árbol de levas principal.

Cada ruptor, cuando es accionado, conecta dos hilos del equipo de tracción, circulando por ellos una corriente de aproximadamente 100 mA. Y cuando no es accionado, la tensión máxima que existe entre los dos hilos es de 70 V.

Del total de los sesenta y cinco ruptores, cuarenta y ocho son empleados para puentear resistencias durante los distintos grados de tracción. La apertura y cierre de estos ruptores va en función de un orden preestablecido.

Además once ruptores se accionan de acuerdo a la orden que se haya dado, tracción o frenado; y los seis restantes se accionan dependiendo del sentido de marcha, adelante o atrás.

Estos últimos diecisiete ruptores no se accionan por un orden preestablecido, sino que al presentarse una condición u orden expresa, del operario o mando central, entran en acción.

## 2.2 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL COMBINADOR.

El mando del árbol de levas, realiza la puesta en sitio

del combinador sobre las diversas posiciones necesarias para asegurar las múltiples combinaciones del arranque, frenado, inversión del sentido de marcha y puenteo.

El desplazamiento angular de un punto a otro es pequeño (aproximadamente  $10^\circ$ ) y es realizado por el platillo P provisto de una corona. Este platillo es fijado en el extremo del árbol. En frente del platillo se encuentra el servomotor eléctrico (SME) cuya flecha lleva un manguito manivela. La base de la manivela posee un rodillo D que se ajusta tangencialmente en las ranuras del platillo para entrenarlo (ajustar su movimiento). Por otra parte acciona, por una biela E, un segundo rodillo F, que guiado en su movimiento por el perno I articulado en H, penetra también en las ranuras del platillo, pero para enclavarlo.

Cuando el servomotor hace una vuelta el platillo es agarrado por el rodillo motor D, desenclavado por el rodillo-cierre F entrenado de un diente, enclavado de nuevo por el rodillo-cierre y por fin abandonado por el rodillo motor D.

El platillo es entonces entrenado y parado sin choque. Efectivamente, el rodillo motor lo toma a velocidad nula, le entrena a velocidad creciente, después decreciente hasta la parada, según una ley casi sinusoidal. Después lo abandona a velocidad nula, al momento preciso cuando el rodillo-cierre lo toma a su vez. Es el servomotor que, por su movimiento mismo, detiene el platillo, y el cerrojo sólo fija su posición. Esta ausencia de choque es la condición que permite las grandes velocidades de maniobra del árbol de levas.

Este funcionamiento se puede apreciar en la figura 2.1.

## PRINCIPIO DEL FUNCIONAMIENTO JH

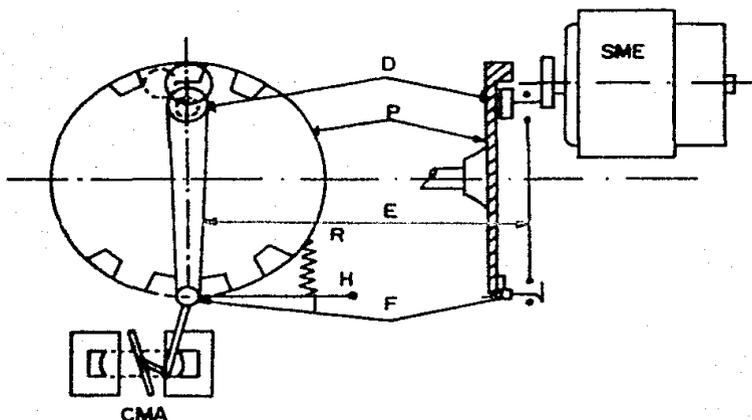


Figura 2.1 Principio de funcionamiento del combinador.

Pero no todo está terminado, es necesario parar a su vez el servomotor antes de que entre de nuevo el platillo. Para esta operación se dispone de una media vuelta muerta y se podrá entonces proceder a un frenado progresivo y sin precisión.

### 2.3 ESTUDIO DE LOS DISTINTOS DIENTES DEL COMBINADOR.

Como se mencionó anteriormente, el servosistema recorre treinta y cinco posiciones o dientes, que van del diente -2 al diente 32 y en cada uno de ellos realiza una función determinada que a continuación se detalla.

Dientes 0, -1 y -2 : Los motores no son alimentados.

Diente 0 : Es la posición de neutro del combinador y se considera como posición de frenado.

Diente -1 : Manda el combinador tracción-frenado TF. Es decir, que cuando se pasa por este diente, se cambia de tracción a frenado o viceversa según sea la condición anterior.

Diente -2 : Nos indica la inversión del sentido de marcha. O sea que al pasar por este diente, se manda el cambio de sentido de marcha adelante-atrás o viceversa según sea el estado anterior.

Dientes del 1 al 3 : Posición del manipulador en T1, denominada "punto maniobra".

El arranque se efectúa con la totalidad de las resistencias del reóstato de arranque en serie con los cuatro motores, después, con la progresión del combinador se elimina una parte de ellas.

Dientes del 4 al 15 : Posición del manipulador en T2, denominada serie con excitación plena.

En esta parte se realiza la eliminación progresiva de las resistencias en el circuito de los motores; en el diente 15 todas las resistencias se encuentran fuera de servicio.

Dientes 15 y 16 : Posición del manipulador en T3, denominada serie con excitación reducida.

Los contactores CHA y CHB, se cierran sucesivamente y efectúan, en el diente 15, un puenteo de la corriente inductora del 26% y después del 45%. En el diente 16, los contactores CH1 y CH2 efectúan un puenteo del 59%.

A estos pasos de puenteo se les conoce como "puenteo de fin de serie".

**Diente 17 : Transición.**

Es cuando el circuito de potencia de los motores de tracción cambia su conexión de serie a serie-paralelo.

Tanto en progresión, como en regresión, el árbol de levas no puede normalmente pararse durante la transición. En caso de un paro intempestivo del árbol de levas, los circuitos de potencia de la motriz afectada se abren y no pueden cerrarse sin antes no haber regresado al combinador a la posición de neutro.

**Dientes del 18 al 29 : Posición del manipulador en T4, denominada serie-paralelo con excitación plena.**

Aquí los motores 1 y 2 por un lado y los motores 3 y 4 por otro, están en serie con un máximo de resistencias intercaladas; en cada grupo de dos motores se eliminan progresivamente las resistencias hasta llegar a un valor de cero.

**Dientes 29 y 30 : Posición del manipulador en T5, denominada serie-paralelo con excitación reducida.**

De manera similar al puenteo de fin de serie, hay un puenteo de la corriente inductora del 26%, después del 45% en el diente 29 y posteriormente del 59% en el diente 30.

**Dientes 31 y 32 : Dientes de seguridad.**

Los dientes de seguridad 31 y 32 han sido agregados sólo por seguridad. A estos dientes sólo se puede llegar en caso de falla del equipo.

El equipo sólo puede detenerse en los dientes de marcha 3, 15, 16, 29 y 30. Los demás dientes son intermedios.

#### 2.4 MANDO DEL COMBINADOR TRACCION-FRENADO TF.

El mando del combinador TF realiza el programa siguiente:

- Permite el control de los motores en tracción y en frenado separando eficazmente estas dos funciones.
- Prohíbe cualquier conmutación o inversión en régimen de tracción.
- Dispone del combinador TF en posición T o en F según las condiciones determinadas en el cuadro de la figura 2.2.

#### Observaciones :

En el cuadro anterior se debe observar lo siguiente :

- a) Abajo de 12 Km/h , el combinador TF, está siempre sobre un grado de tracción T.
- b) Arriba de 12 Km/h , el combinador TF :
  - Es mandado a la posición F, si se aplica el grado de neutro y posteriormente es ordenado un grado de frenado.
  - Permanece en la posición F mientras se mantenga un grado de frenado.

#### FUNCIONAMIENTO DEL COMBINADOR TRACCION-FRENADO TF.

- a) Estando el combinador sobre F, es ordenado un grado de tracción (T1 a T5).

	CONDICIONES INICIALES									POSICIONES FINALES	
	VELOCIDAD	≤ 12 km/h				> 12 km/h				SE REALIZA LA CONMUTACION	POSICION FINAL DEL COMBINADOR TF
	GRADO APLICADO INICIALMENTE	T A T5	N	F I A F6	T A T5	N	F I A F6	F I A F6			
MANDO APLICADO	POSICION INICIAL DEL COMBINADOR TF	T	T	T	F	T	F	F	T		
1.- MANDO "TRACCION"		X	X	X		X			X	NO	T
					X		X	X		SI	T
2.- PUESTA A "NEUTRO"		X		X						NO	T
					X					SI	T
						X			X	SI	F
								X		NO	F
3.- MANDO "FRENADO"		X	X	X						NO	T
					X		X	X		NO	F
						X			X	SI	F

NOTA: Cuando se tiene aplicado un grado de frenado (F1 a F6) y el combinador TF está sobre F a una velocidad superior a 12 km/h, los matices frenan eléctricamente; al disminuir la velocidad a 12 km/h hay sustitución automática de los frenos.

Figura 2.2 Condiciones para el mando del Combinador TF.

Posición de los aparatos en servicio.

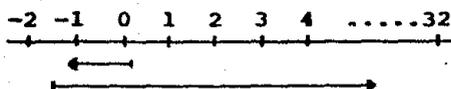
- Hilo de marcha adelante (hilo 11) alimentado.
- Combinador TF sobre F.
- Un grado de tracción ordenado (T1 a T5).
- Corona dentada en el diente 0.

El hilo de regresión (hilo 412) es alimentado.

El equipo regresa hasta el diente -1, y en esta posición el combinador TF pasa de la posición F a la posición T. Y con ello los ruptores de tracción son habilitados por la leva, uniendo así sus hilos correspondientes.

Ahora, los hilo de progresión (hilo 405) y mantenimiento de la progresión (hilo 407) son alimentados.

El equipo avanza hasta el diente 0, terminando así la conmutación. Y el combinador TF empieza una progresión en tracción. O sea que el movimiento del combinador será entonces :



b) Diferentes situaciones estando el combinador en tracción.

i) Estando el combinador sobre T, es ordenado un grado de tracción superior.

Los hilos de progresión y mantenimiento de la progresión son alimentados. Y el equipo avanza desde el diente donde se quedó al haber ejecutado el grado de tracción inferior hasta el diente que corresponda al grado de tracción mandado.

El combinador TF sigue en la posición T.

ii) Estando el combinador sobre T, es ordenado un grado de tracción inferior.

El hilo de regresión es alimentado.

El equipo regresa del diente donde se quedó al ejecutar el grado de tracción superior hasta el diente que corresponda al grado de tracción mandado. Y con ello el combinador TF sigue en la posición T.

c) Estando el combinador sobre T, es mandado el grado de neutro o un grado de frenado, a una velocidad superior a 12 Km/h .

Posición de los aparatos en servicio.

- Hilo de marcha adelante (hilo 11) alimentado.
- Combinador TF sobre T.
- Grado de neutro o frenado aplicado.

El hilo de regresión (hilo 412) es alimentado.

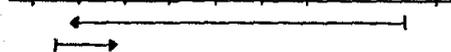
El equipo regresa hasta el diente -1, por lo que el combinador TF, pasa de la posición de tracción a la posición de frenado. Y de acuerdo con esto los ruptores de frenado son habilitados y los de tracción deshabilitados por la leva.

Una vez realizado lo anterior, los hilos de progresión y mantenimiento de la progresión son alimentados.

El equipo ahora progresa al diente 0 si se aplicó el grado de neutro, o al diente 1 si se aplicó el grado de frenado.

El movimiento del combinador es entonces :

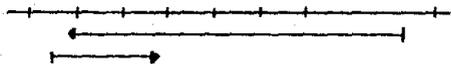
-2 -1 0 1 2 3 4 .....32



Grado de neutro aplicado.

o

-2 -1 0 1 2 3 4 .....32



Grado de frenado aplicado (F1 a F6).

Notas :

- 1) En ocasiones, cuando es aplicado un grado de frenado, la posición final del equipo es el diente 2 no el 1. Y esto se presenta cuando se manda la sustitución del freno eléctrico por el frenado neumático, que es cuando se tiene una velocidad inferior a los 12 Km/h .
- 2) Estando el combinador en F, es aplicado otro grado de frenado diferente, el equipo no se mueve, sino que existen otros circuitos que son los encargados de ejecutar dicha acción y que no depende del combinador.
- 3) Si el combinador está en la posición de neutro y es aplicado un grado de frenado, el equipo avanza al diente 1 o al diente 2 según se vió. Y el combinador sigue en la posición de F y con ello los ruptores de frenado aún se encuentran habilitados.

2.5 MANDO DEL COMBINADOR DE INVERSION.

El mando del combinador de inversión realiza el programa siguiente :

- Dispone o mantiene el combinador de inversión para la marcha adelante cuando es alimentado el hilo de mar--

- cha adelante (hilo 11).
- Inversamente, dispone o mantiene el combinador de inversión para la marcha atrás cuando es alimentado el hilo de marcha atrás (hilo 10).
  - Prohíbe el cambio de marcha, mientras el servosistema del combinador de arranque no ha regresado al diente 0 y la velocidad del tren sea superior a 1.5 Km/h .
  - Prohíbe el arranque durante la inversión del sentido de marcha.

#### FUNCIONAMIENTO DEL COMBINADOR DE INVERSION.

a) Cuando el hilo de mando corresponde al sentido de marcha.

Por ejemplo : El hilo de marcha adelante es alimentado (se ordenó marcha adelante) y el combinador de inversión está dispuesto para marcha adelante. No habrá cambio en el sentido de marcha dado que se está mandando el mismo estado. Quedando así los ruptores de marcha adelante alimentados.

De la misma manera, si el hilo de marcha atrás es alimentado y el combinador de inversión está dispuesto para la marcha atrás, entonces conserva su posición y por ende no habrá cambio en el sentido de marcha.

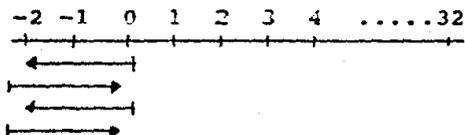
b) Cuando el hilo de mando no corresponde al sentido de marcha.

Por ejemplo : El hilo de marcha atrás es alimentado y el combinador de inversión está dispuesto para la marcha adelante, entonces el combinador conmutará de la posición de marcha adelante a la posición de marcha atrás.

Primeramente el hilo de regresión es alimentado.

El equipo arranca en regresión y va del diente 0 al diente -1 y finalmente al -2.

Para el equipo MP-68 esta secuencia se ejecuta dos veces, es decir, el movimiento del combinador será :



Resumiendo, cuando se manda inversión de sentido de marcha, el combinador tendrá que ir hasta el diente -2 (para el equipo MP-68 dos veces). Y entonces se invertirá el sentido de marcha y junto con ello se habilitarán los ruptores correspondientes.

**C A P I T U L O 3**

## DISEÑO DEL CONTROL ELECTRONICO

### 3.1 GENERALIDADES.

En base a las características analizadas, de los combinadores tracción-frenado e inversión del sentido de marcha, ahora se diseñará el control electrónico que los sustituya, adecuándolo física y funcionalmente al sistema mecánico actual.

De acuerdo a los requerimientos, se propone el siguiente diagrama de bloques (figura 3.1).

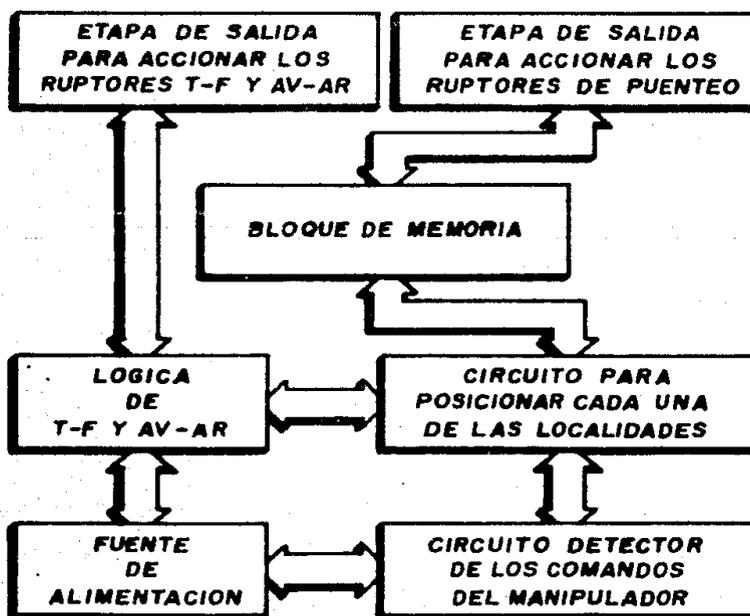


Figura 3.1 Diagrama de bloques del control electrónico.

El control electrónico funciona como sigue :

El circuito posicionador, irá recorriendo cada una de las localidades de la memoria, que harán las veces de los pasos o dientes del combinador.

En cada localidad se tendrán las ordenes para accionar a cada ruptor de puenteo. Por otro lado, se tendrá una etapa que detecte cuando se pasa de las posiciones de frenado a tracción y de adelante a atrás para poder accionar los ruptores correspondientes. Según se vió, esta transición ocurre cuando el combinador pasa por las posiciones -1 y -2 respectivamente.

Además, es necesario que este barrido esté perfectamente sincronizado con el sistema, por lo que se tiene un circuito detector de los comandos del manipulador, que será nuestro reloj e irá acorde con el movimiento del servomotor.

También debemos adecuar la alimentación que el STC (metro) nos proporciona (70 V) a la requerida por el control (5 V), y esto lo logramos con una etapa de doble regulación.

A continuación se detallará cada uno de los bloques :

### 3.2 BLOQUE DE MEMORIA.

Como se analizó, la leva mecánica tiene tantas ranuras como ruptores va a accionar, y los acciona de acuerdo a una lógica previamente establecida precisamente en las ranuras.

Se pensó entonces, en que esta misma lógica se podía tener en una memoria que tuviera tantas localidades como dientes a recorrer (35 dientes) y tantas salidas como ruptores a accionar (48 ruptores de puenteo). Es decir, se debería de tener una memoria de 35 localidades por 48 bits, dado que la lógica tracción-frenado así como la de adelante-atrás se manejan separadamente.

Como comercialmente no es posible tener memorias de tan pocas localidades, e intentar hacer una memoria discreta (ROM alambrado) es más costoso que comprar una memoria integrada de mayor número de localidades. Entonces se eligió trabajar ya sea con las memorias EPROM 2708 (1K X 8) o bien con la EPROM 2716 (2K X 8) de aplicación militar, que en precio cuestan casi lo mismo.

Se escogió la memoria EPROM de aplicación militar por las siguientes razones :

Memoria EPROM, ya que en un momento dado se puede cambiar la lógica de los ruptores, pues el mismo STC (metro) tiene ciertos ruptores los cuales están sin usar, porque se piensan hacer alteraciones de acuerdo a los requerimientos.

De aplicación militar, porque estos circuitos integrados soportan una temperatura de operación hasta 150 °C y la temperatura donde estará colocado el circuito es de aproximadamente 90 °C, cosa que los circuitos normales no soportan (temperatura máxima de operación 70 °C).

De acuerdo con esto, se necesitan entonces seis memorias conectadas en paralelo para tener las 48 salidas requeridas.

Las memorias que se eligieron son las EPROM 2716, por las razones anteriores y además porque hoy en día son las memorias más usadas y por lo tanto, para programarlas es fácil encontrar dispositivos (programadores) que llevan a cabo dicha tarea.

Características de la memoria EPROM 2716.

- Fuente única de alimentación de 5 V.
- Compatibilidad con TTL durante la programación y la lectura.
- Temperatura máxima de operación hasta 150 °C.
- Organización de 2048 bytes (palabra de 8 bits).
- Tiempo de acceso máximo 450 ns.
- Configuración equivalente a Intel 2716.

Su configuración de terminales se muestra en la figura 3.2.

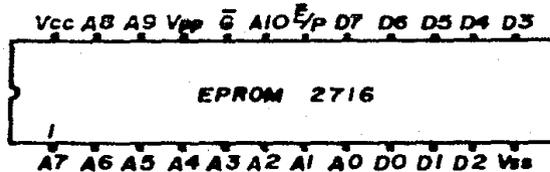


Figura 3.2 Configuración de terminales de la memoria EPROM 2716.

Descripción de terminales.

- A0 - A10 Líneas de selección (2048 localidades).
- D0 - D7 Datos de entrada/salida (8 bits).
- VSS Tierra.

VCC	Alimentación de 5 V.
Vpp	Pulso de programación.
$\bar{G}$	Habilitación de salida.
$\bar{E}/\text{Prog}$	Habilitación del circuito/programación.

La memoria será usada en modo de lectura, por lo que se tienen los siguientes estados en sus terminales :

Terminal	DQ's	VSS	$\bar{E}/\text{Prog}$	$\bar{G}$	Vpp	VCC
Condición	Datos de salida	0 V	0 V	0 V	5 V	5 V

Para conocer la lógica de accionamiento de los ruptores de puenteo, misma que será grabada en las memorias, fué necesario analizar cada una de las diferentes posiciones del combinador, para que de esta manera se pueda saber qué rruptor es tá habilitado en cada una de las treinta y cinco posiciones del combinador de arranque.

De acuerdo a dicho análisis, se tienen los resultados mostrados en la figura 3.3. En esta tabla se puede observar que a las posiciones -1 y -2 del combinador le corresponden las localidades de memoria 255 ( $FF_H$ ) y 254 ( $FE_H$ ) respectivamente. Esto lo hicimos con la idea de hacer coincidir la posición de neutro del combinador (diente 0) con la localidad  $00_H$  de la memoria. Y en un momento dado se pueda tener un punto de sincronización entre ambos sistemas.

Además, se puede observar en la figura 3.3 , que la orden para accionar un rruptor es un "1 lógico". Por lo que un "0 lógico" indicará que el rruptor correspondiente está deshabilitado.





También se muestra en la figura 3.3 , la disposición de las seis memorias que contienen toda la lógica para los ruptores de puenteo.

### 3.3 CIRCUITO PARA POSICIONAR CADA UNA DE LAS LOCALIDADES.

De acuerdo a lo que se requiere, este circuito se implementó con contadores, los cuales deberán contar desde -2 hasta 32 en ambos sentidos. Para que, de acuerdo a la señal de reloj que le llegue, recorra cada una de las posibles localidades.

Como las posiciones -1 y -2 corresponden a las cuentas 255 ( $FF_H$ ) y 254 ( $FE_H$ ) respectivamente, entonces, cuando el combinador esté en regresión y haga el recorrido 0, -1, -2, los contadores deberán hacer la cuenta 0, 255, 254.

De esta manera, la cuenta cero siempre debe corresponder a la posición del diente 0 y así en cada una de las siguientes posiciones.

El contador que cumple con las características requeridas es el circuito 54L193, que es un contador binario de cuatro bits (arriba/abajo) de aplicación militar.

Características del circuito contador 54L193.

- Temperatura de operación de -55 a 125 °C.
- Operación síncrona.
- Provisto de circuitería interna para poderlo conectar en serie (en cascada).

- Disipación de potencia 43 mW.

Su configuración de terminales se muestra en la figura 3.4.

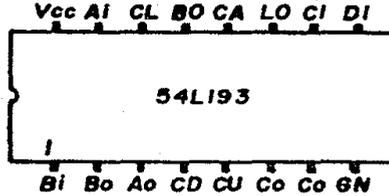


Figura 3.4 Configuración de terminales del circuito 54L193.

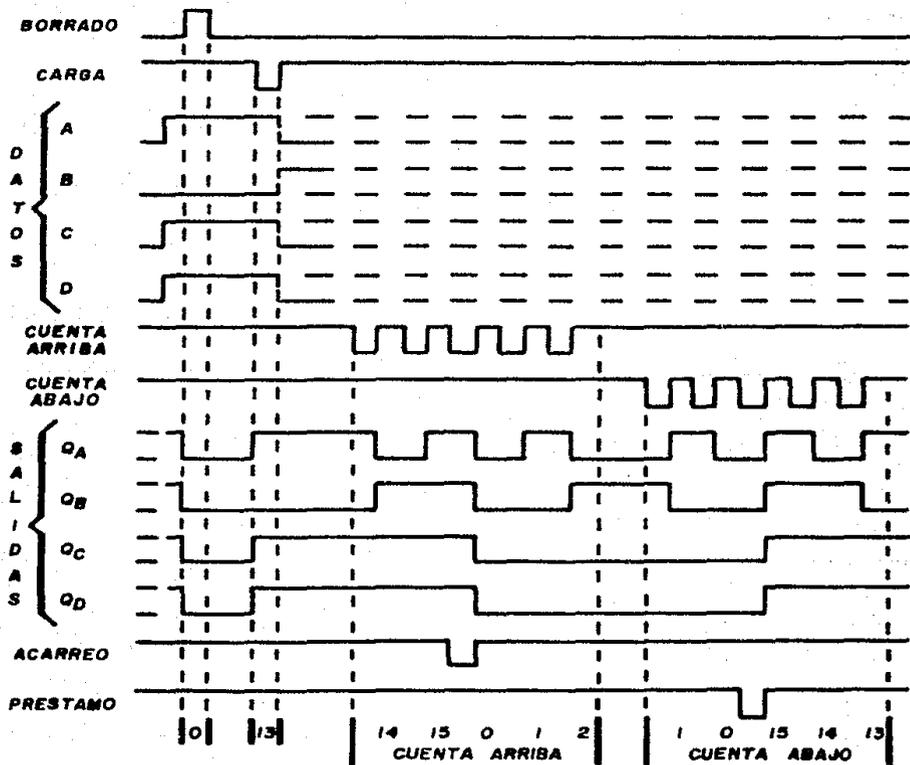
Como se requiere llegar a la cuenta 255 (diente -1), es necesario entonces, tener ocho bits, por lo que se tienen que conectar dos contadores de cuatro bits en cascada.

De acuerdo al diagrama de tiempos y a la función de cada una de las terminales que se muestran en la figura 3.5, podemos conectar en cascada dos de estos contadores para poder llegar a la cuenta requerida.

En la figura 3.6 se muestra la conexión en cascada de los dos contadores. Como se puede observar los datos de entrada en ambos contadores están conectados a tierra (0 lógico). Esto es, porque en algún momento podemos mandar cargar un cero, lo cual nos sirve para que nunca se pierda la sincronía con el movimiento del servosistema.

**SECUENCIA ILUSTRADA EN EL DIAGRAMA :**

1. Pulso de borrado presente, salidas a cero
2. Pulso de carga (posicion previa), carga un trece binario
3. Cuenta arriba, catorce, quince, acarreo, cero, uno y dos
4. Cuenta abajo, uno, cero, prestamo, quince, catorce y trece.



**Figura 3.5** Secuencia típica de borrado, carga y cuenta de los contadores empleados.

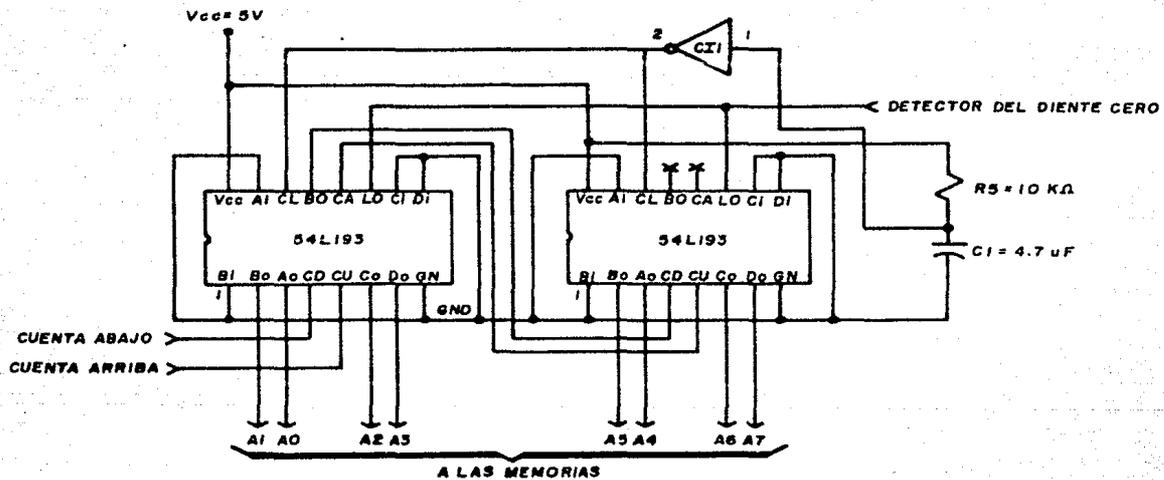


Figura 3.6 Circuito para posicionar cada una de las localidades.

Por otro lado, estamos previendo que en el momento de encender el sistema la cuenta inicial sea siempre cero, que corresponde al estado de neutro del combinador. Lo anterior se logra con el circuito que llega a la terminal de borrado.

Después de un tiempo determinado por  $t = RC$  (donde  $R = 10\text{ K}\Omega$  y  $C = 4.7\text{ }\mu\text{F}$ ), el circuito habilita a los contadores. Este tiempo es demasiado pequeño pues sólo asegura una reposición inicial.

Las terminales de acarreo y préstamo (carry y borrow) del primer contador son usadas para conectar en cascada a los dos contadores.

Las salidas se conectan en orden a las memorias para tener el direccionamiento correcto, es decir :

$A_{out_1}$  con  $A_0$  ;  $B_{out_1}$  con  $A_1$  ; . . . . . ; etc.

#### 3.4 CIRCUITO DETECTOR DE LOS COMANDOS DEL MANIPULADOR.

Como parte del combinador tenemos una corona dentada, cuyo movimiento va acorde con el del servosistema. De aquí partiremos para obtener la señal que nos sirva como reloj para nuestro control electrónico.

De acuerdo a la figura 3.7 se tiene :

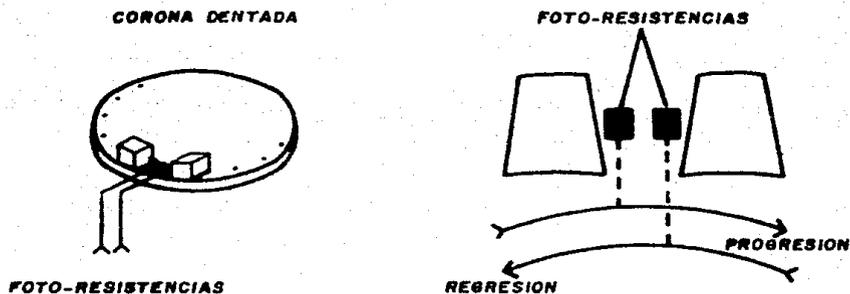


Figura 3.7 Obtención de los comandos del manipulador.

Colocamos dos foto-resistencias en un claro de diente, de tal manera que se pueda detectar el sentido del movimiento.

Las foto-resistencias normalmente están iluminadas, cuando la luz es obstruida por un diente, las foto-resistencias cambian su valor óhmico y esto es aprovechado para generar un pulso, y dependiendo de cual foto-resistencia lo generó, la cuenta será hacia un lado u otro. Simulando de esta manera el movimiento de progresión y regresión requeridos.

El circuito que proponemos para generar y adecuar estos pulsos a los contadores se muestra en la figura 3.8.

En dicho circuito, las secciones de cuenta arriba y cuenta abajo operan de la misma manera, por lo que sólo trataremos una de ellas.

El circuito opera como sigue :

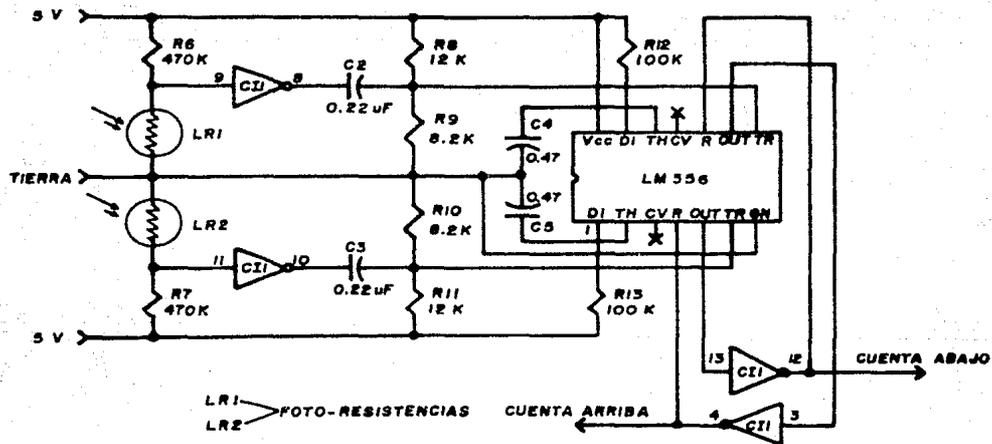


Figura 3.8 Circuito detector de los comandos del manipulador.

Cuando una luz externa incide en la foto-resistencia LRI, su valor óhmico es bajo, aproximadamente  $100 \Omega$ . Consecuentemente, la entrada a la terminal 9 de CI1 es baja, valor fijado por la divisora de voltaje :

$$V_i = \frac{0.1 \text{ K}\Omega}{(470 + 0.1) \text{ K}\Omega} (5 \text{ V}) = 0.001 \text{ V}$$

Haciendo que la salida del circuito inversor (terminal 8) esté en alto.

Ahora, cuando se le interrumpe la luz a la foto-resistencia (cuando se mueve la corona dentada en progresión y el diente interrumpe el haz de luz) su valor óhmico se incrementa rápidamente a varios megohms, colocando un voltaje de aproximadamente 5 V a la entrada del inversor, con lo que se genera un estado bajo a la salida del mismo.

Este cambio brusco de voltaje a la salida del inversor es diferenciado por R8, R9 y C2 para producir un pulso negativo de forma aguda, cuyo ancho es determinado por la duración de la interrupción del haz luminoso a la foto-resistencia.

La resistencia R8 también sirve como "pull-up" para la entrada del circuito LM556. Este circuito temporizador integrado es usado como un multivibrador de un disparo. Cuando es disparado por el pulso diferenciado (terminal de disparo), genera un pulso de borde positivo en su salida. Dicho pulso es invertido y posteriormente colocado en la entrada de cuenta-arriba del circuito contador 54L193 (terminal 5), registrando con ello un incremento en la cuenta.

Con cada interrupción sucesiva del haz de luz a la foto--

resistencia LR1, el circuito registrará otro incremento en la cuenta y con ello se irá barriando cada una de las localidades de la memoria, simulando de esta manera el movimiento del combinador.

La misma señal aplicada a la terminal 5 del circuito contador, es colocada a la entrada de reposición (terminal 4) del circuito LM556, para inhibir la salida del segundo multivibrador. Con ello se previene la posibilidad de generar una cuenta regresiva falsa.

Las dos foto-resistencias deben estar lo más cerca posible una de otra, de modo que un mismo haz de luz pueda ser usado para ambas. Esto significa que cuando el diente de la corona pase entre el haz y LR1, un intervalo discreto después pase entre LR2 y el haz. Por lo que, si el segundo multivibrador no está inhibido, se registraría un incremento en la cuenta y casi inmediatamente un decremento en ella.

El circuito debe, por lo tanto, responder sólo a la cuenta generada por la primera foto-resistencia activada.

El tiempo de respuesta es manejado con R12 y C4, dado que como especificación de este circuito se tiene que :

$$t = 1.1 RC$$

Experimentalmente el tiempo de respuesta adecuado lo obtuvimos con R12 = 100 K $\Omega$  y C4 = 0.47  $\mu$ F.

Para tener mayor seguridad en la sincronía entre el movimiento del servosistema y la señal de reloj generada, se colocará un detector del diente 0, y cada que se identifique se

mandará una carga a los contadores, para que estos a su vez direccionen la localidad  $00_H$  de las memorias.

La etapa detectora la logramos con un diodo infrarrojo y un foto-transistor (o un foto-darlington) de acuerdo a la idea mostrada en la figura 3.9.

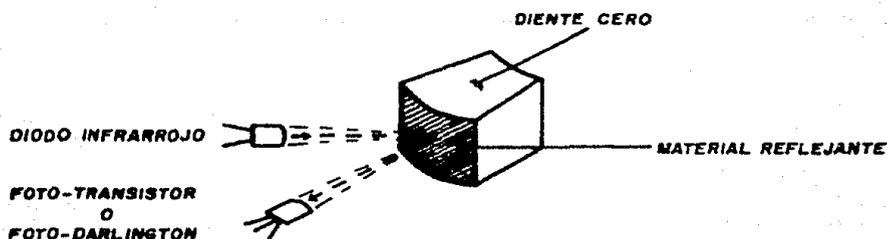


Figura 3.9 Detección del diente 0.

El circuito propuesto es entonces (figura 3.10) :

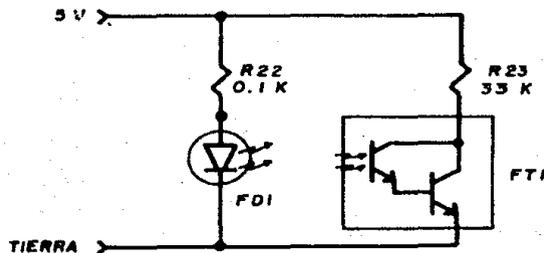


Figura 3.10 Circuito detector del diente 0.

Donde :

FD1 : MLED 930 ,  $I_F = 50 \text{ mA}$  ,  $V_{BEon} = 1.2 \text{ V}$ .

FT1 : MRD 370.

Por lo que :

$$R22 = \frac{V_{CC} - V_{BEon}}{I_F} = \frac{(5 - 1.2) \text{ V}}{50 \text{ mA}} = 0.078 \text{ K}\Omega$$

Se ajustó al valor de  $100 \Omega$ .

R23 debe ser tal, que cuando el foto-transistor conduzca se encuentre en saturación, o sea  $V_{CE} \approx 0 \text{ V}$ .

Experimentalmente el valor de R23 es de  $33 \text{ K}\Omega$ , y el de  $V_{CE} = 0.05 \text{ V}$ . Ya que para mandar una carga a los contadores es necesario hacerlo con un nivel bajo (0 lógico).

### 3.5 CIRCUITO DE ILUMINACION PARA LAS FOTO-RESISTENCIAS.

Además de que se busca un funcionamiento óptimo en nuestro diseño, también buscamos que sea lo más seguro posible, por lo que se pretende que el circuito de iluminación contemple la posibilidad de que exista un foco de iluminación sustituto que entre en acción inmediatamente cuando el foco principal se dañe, y además que se tenga una señal que indique cuando esto ocurra.

El circuito propuesto se muestra en la figura 3.11.

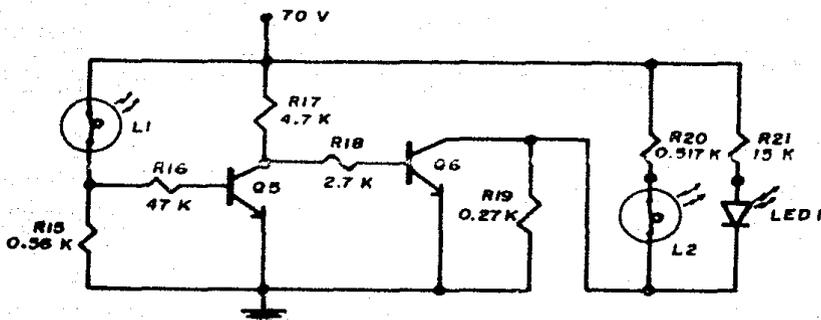


Figura 3.11 Circuito de iluminación.

Tenemos dos condiciones que cumplir :

- a) Cuando el transistor Q5 conduce el voltaje en R17 ( $V_{R17}$ ) debe ser tal que permita que el transistor Q6 apenas conduzca, para que de esta manera el filamento del foco L2 esté caliente y cuando tenga que entrar en acción no exista ningún retardo en la operación, lo cual originaría un error en la cuenta.
- b) Cuando el foco L1 se dañe, el transistor Q5 estará en corte, y el transistor Q6 conducirá. Con ello el foco L2 encenderá de manera normal y junto con él el LED1 indicando que el foco L1 se ha dañado.

Como los transistores estarán operando muy cerca de las regiones de corte y saturación, se requiere que cumplan con las siguientes características :

$V_{CE} = 70 \text{ V}$  ;  $I_{Cm\acute{a}x} = 112 \text{ mA}$  ;  $\beta$  de saturaci3n por lo menos de 12.

De acuerdo con esto se eligieron los transistores Motorola 2N 707A.

Diseño :

Caso 1.

$V_{L1} = 12 \text{ V}$  ;  $I_{L1} = 105 \text{ mA}$  ; para que el foco L2 permanezca casi encendido  $V_{L2} = 7 \text{ V}$  y la corriente  $I_{L2} = 85 \text{ mA}$ .

Si se elige  $R17 = 4.7 \text{ K}\Omega$ , y se establece que  $V_{R17} = 69 \text{ V}$  para que  $V_{CE5} = 1 \text{ V}$  (valor necesario para medio encender a Q6).

De esta manera :

$$I_{R17} = \frac{V_{R17}}{R17} = \frac{69 \text{ V}}{4.7 \text{ K}\Omega} = 14.7 \text{ mA}$$

$$P_{R17} = I_{R17} V_{R17} = (14.7 \text{ mA})(69 \text{ V}) = 1.03 \text{ W}$$

Comercialmente :

$$\underline{\underline{R17 = 4.7 \text{ K}\Omega \text{ a } 2 \text{ W}}}$$

Q6 lo polarizamos casi en corte, por lo tanto  $I_{B2}$  es muy peque\~na, entonces :

$$I_{C5} \doteq I_{R17} \doteq 14.7 \text{ mA}$$

$$I_{B5} = \frac{I_{C5}}{\beta} = \frac{14.7 \text{ mA}}{12} = 1.22 \text{ mA}$$

Como  $V_{L1} = 12 \text{ V}$  , entonces  $V_{R15} = 58 \text{ V}$

$$I_{R15} = I_{L1} - I_{B5} = 105 - 1.2 = 104 \text{ mA}$$

$$R_{15} = \frac{V_{R15}}{I_{R15}} = \frac{58 \text{ V}}{104 \text{ mA}} = 0.557 \text{ K}\Omega$$

$$P_{R15} = I_{R15} V_{R15} = (104 \text{ mA})(58 \text{ V}) = 6030 \text{ mW}$$

Comercialmente :

$$\underline{\underline{R15 = 560 \Omega \text{ a } 10 \text{ W}}}$$

Analizando la malla BE5 tenemos :

$$V_{R15} = V_{Th} = I_{B5} R16 + I_{B5} RTh + V_{BE5}$$

donde

$$R16 = \frac{V_{R15} - V_{BE5}}{I_{B5}} - RTh$$

y

$$\begin{aligned} RTh &= RL1 // R15 = \left( \frac{V_{L1}}{I_{L1}} \right) // R15 \\ &= \left( \frac{12 \text{ V}}{105 \text{ mA}} \right) // (0.56 \text{ K}\Omega) = 0.1 \text{ K}\Omega \end{aligned}$$

Por lo que

$$R_{16} = \frac{58 - 0.7}{1.22} - 0.1 = 46.1 \text{ K}\Omega$$

$$P_{R16} = (I_{B5})^2 R_{16} = (1.22 \text{ mA})^2 (46.1 \text{ K}\Omega) = 71 \text{ mW}$$

Comercialmente :

$$\underline{R_{16} = 47 \text{ K}\Omega \text{ a } 1/4 \text{ W}}$$

Caso 2.

El foco L1 está dañado por lo que transistor Q5 no conduce (está en la región de corte).

Hacemos que el voltaje  $V_{CE6}$  sea casi cero y con ello aseguramos que el transistor Q6 esté en saturación.

De acuerdo con esto se tiene :

$$70 \text{ V} = V_{R20} + V_{L2}$$

Como  $V_{L2} = 12 \text{ V}$  , por lo tanto :

$$V_{R20} = 70 - 12 = 58 \text{ V}$$

$$I_{R20} = I_{L2} + I_{LED}$$

Como  $I_{L2} = 100 \text{ mA}$  y  $I_{LED} = 12 \text{ mA}$

(Esto es, para un funcionamiento adecuado tanto para el foco como para el LED).

$$I_{R20} = 100 + 12 = 112 \text{ mA}$$

$$R20 = \frac{V_{R20}}{I_{R20}} = \frac{58 \text{ V}}{112 \text{ mA}} = 0.517 \text{ K}\Omega$$

$$P_{R20} = I_{R20} V_{R20} = (112 \text{ mA})(58 \text{ V}) = 6940 \text{ mW}$$

Comercialmente :

$$\underline{\underline{R20 = 517 \Omega \text{ a } 10 \text{ W}}}$$

$$\text{Como } V_{CE6} = 0 = V_{R19}, \text{ entonces } I_{R19} = 0$$

Por lo tanto

$$I_{C6} = I_{R20} = 112 \text{ mA}$$

$$I_{B6} = \frac{I_{C6}}{\beta_{SAT}} = \frac{112 \text{ mA}}{12} = 9.33 \text{ mA}$$

Analizando la malla BE6 se tiene :

$$70 \text{ V} = I_{B6} R17 + I_{B6} R18 + V_{BE6}$$

De donde

$$R18 = \frac{70 - I_{B6} R17 - V_{BE6}}{I_{B6}} = \frac{70 - 9.33(4.7) - 0.7}{9.33}$$

$$= 2.72 \text{ K}\Omega$$

$$P_{R18} = (I_{B6})^2 R18 = (9.33 \text{ mA})^2 (2.72 \text{ K}\Omega) = 235 \text{ mW}$$

Comercialmente :

$$\underline{R18 = 2.7 \text{ K}\Omega \text{ a } 1/2 \text{ W}}$$

Como se requiere que en este caso el LED encienda, se tiene :

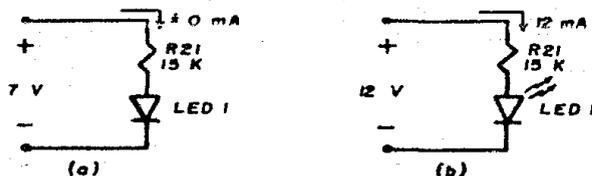


Figura 3.12 Condiciones para que el LED encienda. a) Caso 1, el LED no enciende; b) Caso 2, el LED enciende.

De la figura 3.12 (b), se tiene :

$$R21 = \frac{V_{L2} - V_{LED\text{on}}}{I_{LED}} = \frac{(12 - 0.7) \text{ V}}{12 \text{ mA}} = 1 \text{ K}\Omega$$

$$P_{R21} = I_{LED} V_{R21} = (12 \text{ mA})(11.3 \text{ V}) = 136 \text{ mW}$$

Por otra parte, en el caso 1, cuando el foco L2 debe estar semiprendido y se tiene :

$$V_{L2} = 7 \text{ V con una corriente } I_{L2} = 85 \text{ mA}$$

En este caso el LED no debe encender, por lo que el  $V_{LED} < 0.7 \text{ V}$ .

De la figura 3.12 (a), se tiene :

$V_{R21} = 7 \text{ V}$  , entonces  $I_{LED}$  es muy pequeña.

Se tienen que cumplir ambos casos, experimentalmente se trabajó y se logró con una resistencia de :

$$\underline{R21 = 15 \text{ K}\Omega \text{ a } 1/2 \text{ W}}$$

Además en este caso, para que la corriente  $I_{L2} = 85 \text{ mA}$  y no afecte el funcionamiento del transistor Q5 (tenerlo casi en saturación), se colocó una resistencia R19 para que por ella fluya la mayor parte de la corriente, e  $I_{C6}$  sea lo más pequeña posible.

Tenemos entonces :

$$70 \text{ V} = V_{R20} + V_{L2} + V_{R19}$$

Como  $I_{L2} \gg I_{C6}$  , podemos aproximar a :

$$R19 = \frac{70 - V_{L2} - V_{R20}}{I_{L2}} = \frac{70 - 7 - 85(0.517)}{85}$$

$$= 0.254 \text{ K}\Omega$$

$$P_{R19} = (I_{L2})^2 R19 = (85 \text{ mA})^2 (0.254 \text{ K}\Omega) = 1830 \text{ mW}$$

Comercialmente :

$$\underline{R19 = 2.7 \text{ K}\Omega \text{ a } 5 \text{ W}}$$

### 3.6 LOGICA PARA DETECTAR LOS CAMBIOS DE POSICION T-F , F-T Y ADELANTE-ATRAS , ATRAS-ADELANTE (AV-AR , AR-AV).

Como se analizó en el capítulo anterior, el combinador siempre comienza en un grado de frenado (posición de neutro). Y cambiará a la posición de tracción hasta que se pase por el diente "-1". Se regresará a la posición de frenado nuevamente hasta que se vuelva a pasar por el diente "-1".

El mismo procedimiento se sigue para la inversión del sentido de marcha, a diferencia de que en este caso es necesario detectar el pase por el diente "-2". Inicialmente el combinador de inversión de sentido de marcha se encuentra en la posición de adelante (AV).

De acuerdo con lo anterior, se diseñó un circuito secuencial para detectar cada uno de los cambios.

#### a) Lógica de cambio T-F, F-T.

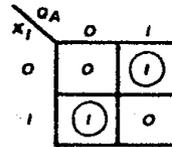
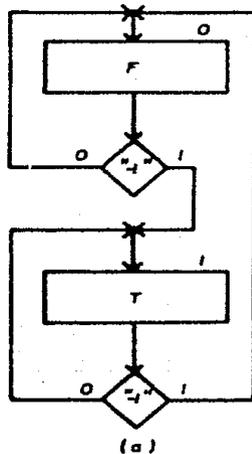
De acuerdo a la figura 3.13, la lógica funciona como sigue :

Se tiene un estado inicial de frenado (estado 0). Preguntamos por el calificador de "-1", si no ha llegado se sigue en el estado de frenado. Si ya llegó, se pasa al estado de tracción (estado 1). En el estado de tracción, nuevamente se pregunta por el calificador de "-1", si no ha llegado se sigue en el mismo estado, pero si ya llegó se regresa al estado de frenado (estado 0) a esperar nuevamente que llegue el calificador (-1).

En cada estado se tiene una salida para poder mandar el

cambio de estado, y con ello accionar los ruptores correspondientes a la tracción o al frenado.

Para implementar este circuito, lo que hacemos es interpretar la secuencia de la carta ASM (figura 3.13 a) en un mapa de Karnaugh (figura 3.13 b). Colocamos como variables al calificador de "-1" (X1) y a la salida QA de una celda de memoria (flip-flop).



$$DA = QA \bar{x}_1 + \bar{QA} x_1$$

(b)

Figura 3.13 Lógica de cambio T-F, F-T. a) Carta ASM; b) Mapa de Karnaugh.

El interior del mapa nos indica el estado siguiente, dependiendo si aparece o no el calificador. Por ejemplo, la celda 00 se interpreta como sigue :

- Estoy en el estado 0, como el calificador es cero (no ha llegado) sigo en el estado 0 -. Etc.

La función resultante de reducir el mapa es :

$$DA = QA \overline{X1} + \overline{QA} X1$$

Que es la función OR exclusiva del calificador y el estado actual de la celda binaria. El dato DA será la entrada de dicha celda. Es necesario entonces, contar con la celda binaria (flip-flop) tipo D, y con el calificador de la posición "-1".

Para ello usamos el circuito integrado 5474 que es un flip-flop dual tipo D de aplicación militar disparado por bor de positivo, cuya configuración de terminales y tabla de verdad se muestran en la figura 3.14.

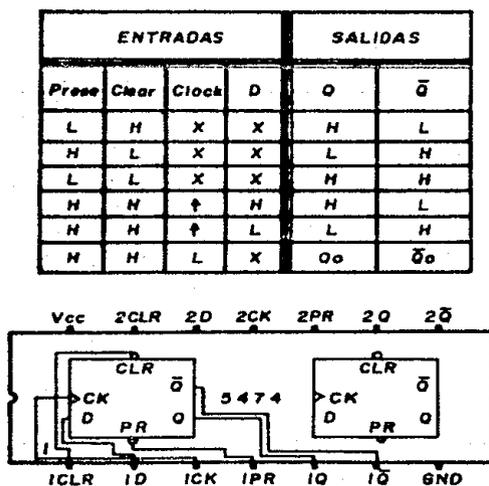


Figura 3.14 Configuración de terminales y tabla de verdad del circuito 5474.

Para obtener el calificador de la posición "-1", analizaremos a que cuenta corresponde.

Las cuentas posibles son :

FE <sub>H</sub>	1 1 1 1	1 1 1 0	---- posición -2
FF <sub>H</sub>	1 1 1 1	1 1 1 1	---- posición -1
00 <sub>H</sub>	0 0 0 0	0 0 0 0	---- posición 0
01 <sub>H</sub>	0 0 0 0	0 0 0 1	---- posición 1
02 <sub>H</sub>	0 0 0 0	0 0 1 0	---- posición 2
03 <sub>H</sub>	0 0 0 0	0 0 1 1	---- posición 3
04 <sub>H</sub>	0 0 0 0	0 1 0 0	---- posición 4
05 <sub>H</sub>	0 0 0 0	0 1 0 1	---- posición 5
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
20 <sub>H</sub>	0 0 1 0	0 0 0 0	---- posición 32

La posición -1 corresponde a la cuenta :

1 1 1 1 1 1 1 1

Como se puede observar, si detectamos que el bit más significativo y el bit menos significativo están en alto (1 lógico), logramos detectar la posición deseada.

Por lo que el calificador X1, se obtiene al hacer la función AND de los bits A0 y A7 del canal de direcciones. Como se indica en la figura 3.15.

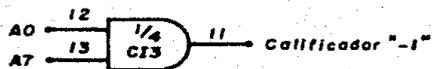


Figura 3.15 Obtención del calificador de la posición -1.

El circuito final para esta lógica es ilustrado en la figura 3.16.

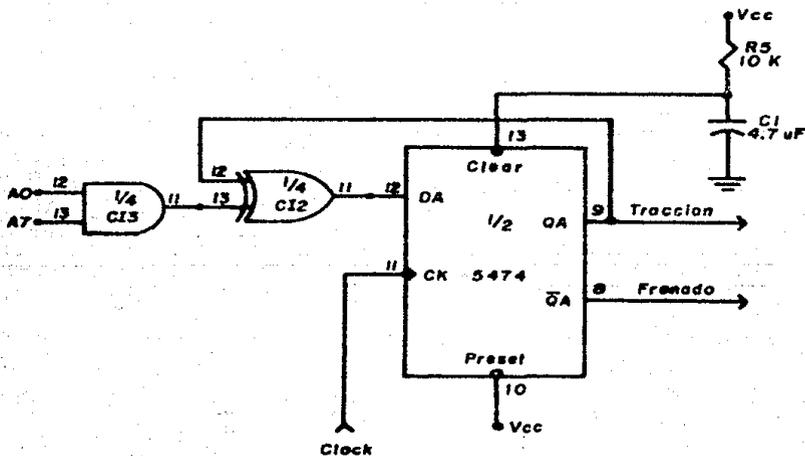


Figura 3.16 Circuito de la lógica de cambio T-F, F-T.

Como se puede observar en la figura anterior, el circuito

RC que llega a la terminal de borrado, cumple la misma función que en los contadores (de hecho es el mismo). Es decir, que aquí también se debe tener una reposición a cero inicial para que la cuenta comience desde la posición cero al momento de energizar el sistema.

b) Lógica de cambio de sentido de marcha.

Para este caso se sigue exactamente el mismo procedimiento que en la lógica anterior, sólo cambia el calificador. Por lo que únicamente se mencionará como se detectó la posición -2.

De las cuentas posibles, la posición -2 corresponde a la cuenta :

1 1 1 1 1 1 1 0

Detectando que el bit más significativo es un 1 lógico y el menos significativo es un 0 lógico, podemos identificar la posición -2. Entonces el calificador se obtiene como se muestra en la figura 3.17.

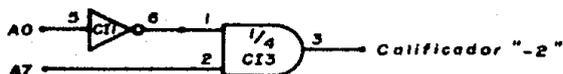


Figura 3.17 Obtención del calificador de la posición -2.

Tanto el circuito como el diagrama secuencial se muestran en la figura 3.18.



La señal de reloj es común para ambos flip-flops, y se obtiene a partir de las señales de cuenta arriba y cuenta abajo de los contadores, como se indica en la figura 3.19.

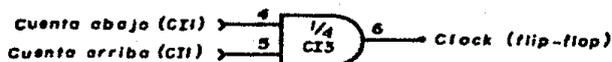


Figura 3.19 Obtención de la señal de reloj para los flip-flops.

La señal de reloj se obtuvo así, dado que, cuando la señal de cuenta arriba es el reloj, la señal de cuenta abajo está en alto y viceversa.

Además la terminal de borrado está conectada al circuito RC de los contadores, para que el inicio sea el mismo en todos los circuitos y el sistema esté posicionado en el diente cero.

### 3.7 CIRCUITO DE SALIDA PARA ACCIONAR LOS RUPTORES.

Una vez que se tiene la lógica que indica cuando deben accionarse cada uno de los ruptores, ya sean los de puenteo, tracción-frenado o inversión del sentido de marcha. Ahora es necesario adecuar estas órdenes para el accionamiento correcto de cada raptor.

Las órdenes son tomadas, de las memorias para los rupto--

res de puenteo y de los flip-flops para los ruptores de tracción-frenado, adelante-atrás. O sea que son niveles de voltaje de aproximadamente 5 V (1 lógico).

Es importante considerar, que cada memoria maneja ocho ruptores, por lo que se debe cuidar la corriente que le demandará cada uno de ellos.

Por su parte, los flip-flops manejan hasta once ruptores. Condiciones que tomamos en cuenta para el diseño.

De las especificaciones de las memorias y de los flip-flops, se tienen las siguientes características :

#### Flip-flops.

- Corriente de salida cuando se tiene un nivel alto

$$I_{OH} = 800 \text{ uA}$$

- Corriente de salida cuando se tiene un nivel bajo

$$I_{OL} = 16 \text{ mA}$$

#### Memorias.

- Corriente de carga de salida

$$I_{LO} = 5 \text{ mA}$$

Por otro lado, se dijo que cuando un ruptor es activado, lo que hace es unir dos hilos, circulando por ellos una corriente de aproximadamente 100 mA y el potencial que la impulsa es de 70 V.

Entonces nuestro circuito debe acoplar los niveles de la lógica a los requeridos por el sistema.

De acuerdo con lo anterior, se propone el circuito muestra

do en la figura 3.20.

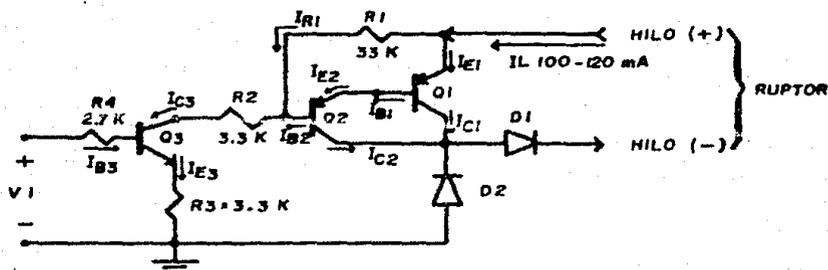


Figura 3.20 Circuito de salida para accionar los ruptores.

Diseño.

Debemos cumplir con las siguientes condiciones :

- Quando  $V_i = 5 \text{ V}$  ,  $I_{L\text{máx}} = 120 \text{ mA}$  e  $I_{B3} < 100 \text{ mA}$ .
- Quando  $V_i = 0 \text{ V}$  ,  $I_L = 0$  .

La condición b se cumple por si misma.

- Del circuito de la figura 3.20 se tiene :

$$I_{C1} + I_{C2} = I_L = 120 \text{ mA} \quad (1)$$

$$I_{B1} = I_{E2} \quad (2)$$

$$I_{B1} = \frac{I_{C1}}{\beta} \quad (3)$$

Si  $\beta \gg 1$ , entonces :  $I_{B1} \doteq I_{C2}$  (4)

Sustituyendo (4) en (1) :

$$I_{C1} + \frac{I_{C1}}{\beta} = 120 \text{ mA}$$

Con una  $\beta_{\min} = 15$ , se tiene :

$$I_{C1} \left( 1 + \frac{1}{15} \right) = 120 \text{ mA}$$

$$I_{C1} = \frac{120}{1 + \frac{1}{15}} = 112.5 \text{ mA}$$

e

$$I_{C2} = I_L - I_{C1} = 120 - 112.5 = 7.5 \text{ mA}$$

$$I_{B2} = \frac{I_{C2}}{\beta} = \frac{7.5 \text{ mA}}{15} = 0.5 \text{ mA}$$

$$V_{R1} = 2V_{BEon} = 2(0.75 \text{ V}) = 1.5 \text{ V}$$

Si  $R_1 = 33 \text{ K}\Omega$ , entonces :

$$I_{R1} = \frac{1.5 \text{ V}}{33 \text{ K}\Omega} = 0.045 \text{ mA}$$

$R_1$  es para contrarrestar los efectos de la corriente de fuga en los transistores.

$$I_{C3} = I_{B2} + I_{R1} = 0.5 + 0.045 = 0.545 \text{ mA}$$

$$I_{B3} = \frac{I_{C3}}{\beta} = \frac{0.545 \text{ mA}}{15} = 0.036 \text{ mA} = 36 \text{ uA}$$

Con esto se cumple que  $I_{B3} < 100 \text{ uA}$ , para no tener problemas con la capacidad en la corriente de salida de las memorias y flip-flops.

Con  $I_{B3} = 36 \text{ uA}$ , se pueden manejar hasta veinte ruptores por cada memoria.

$$I_{E3} = (\beta + 1)I_{B3} = (15 + 1)(0.036) = 0.576 \text{ mA}$$

Ahora hay que calcular el valor de las resistencias para asegurar estos valores de corriente.

Analizando la malla BE3, se tiene :

$$V_i = I_{B3} R_4 + V_{BE3} + I_{E3} R_3$$

Para tener estabilidad contra las variaciones de  $\beta$ .

$$R_4 \ll (\beta + 1)R_3$$

Con  $R_4 = \frac{1}{10} (\beta + 1)R_3$ , se tiene estabilidad.

Por lo que :

$$\text{Si } R_3 = 3.3 \text{ K}\Omega$$

$$R_4 = \frac{1}{10} (15 + 1) 3.3 \text{ K}\Omega = 5.28 \text{ K}\Omega \text{ o menor.}$$

Si  $R_4 = 2.7 \text{ K}\Omega$ , veamos que pasa con  $I_{B3}$ .

Como el transistor Q3 no está operando como interruptor, o sea en corte y saturación, como lo hace Q1. En este la  $\beta$  es más grande.

Suponiendo una  $\beta_{3mfn} = 50$ , se tiene :

$$I_{B3} = \frac{V_i - V_{BEon}}{R4 + (\beta_{3mfn} + 1)R3} = \frac{5 - 0.7}{2.7 + (51)(3.3)} = 0.025 \text{ mA}$$

Con éste valor se cumple lo requerido.

$$P_{R3} = (I_{E3})^2 R3 = (0.576 \text{ mA})^2 (3.3 \text{ K}\Omega) = 1.07 \text{ mW}$$

$$P_{R4} = (I_{B3})^2 R4 = (0.025 \text{ mA})^2 (2.7 \text{ K}\Omega) = 0.0016 \text{ mW}$$

Comercialmente :

$$\underline{\underline{R3 = 3.3 \text{ K}\Omega \text{ a } 1/4 \text{ W}}}$$

$$\underline{\underline{R4 = 2.7 \text{ K}\Omega \text{ a } 1/4 \text{ W}}}$$

Ahora

$$70 \text{ V} = V_{R1} + I_{C3} R2 + V_{CE3} + I_{E3} R3$$

Como estamos en la posibilidad de escoger los transistores, procuramos que soporten el  $V_{CE}$  determinado.

Para Q1 por ejemplo, cuando no conduce está en corte por lo que  $V_{CE1} = 70 \text{ V}$ . Siendo este el valor máximo que deberán soportar.

Si  $R2 = 3.3 \text{ K}\Omega$ , se tiene :

$$V_{CE3} = 70 - 1.5 - 3.3(0.576) - 3.3(0.545) = 64.8 \text{ V}$$

El  $V_{CE3}$  está dentro del rango adecuado.

$$P_{R2} = (I_{C3})^2 R2 = (0.545 \text{ mA})^2 (3.3 \text{ K}\Omega) = 0.98 \text{ mW}$$

Comercialmente :

$$\underline{R2 = 3.3 \text{ K}\Omega \text{ a } 1/4 \text{ W}}$$

$$P_{R1} = V_{R1} I_{R1} = (1.5 \text{ V}) (0.045 \text{ mA}) = 0.06 \text{ mW}$$

Comercialmente :

$$\underline{R1 = 33 \text{ K}\Omega \text{ a } 1/4 \text{ W}}$$

Por lo que se refiere a los diodos :

El diodo D2, funciona como un diodo volante, el cual protege al circuito de cargas inductivas, ya que cuando se les interrumpe la alimentación tratan de mantener la corriente en el mismo sentido, como se indica en la figura 3.21.

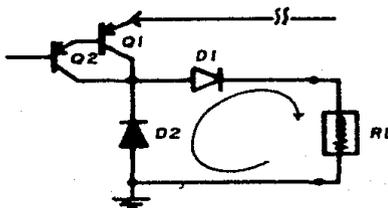


Figura 3.21 Función del diodo volante en el circuito.



### 3.8 FUENTE DE ALIMENTACION.

Como se está trabajando con lógica TTL, la cual se alimenta con 5 V, es necesario entonces tener una fuente de alimentación de este valor y que maneje la corriente demandada por el circuito.

Los trenes del STC (metro) tienen un hilo de alimentación permanente de 70 VCD. De donde partiremos para hacer nuestra fuente.

Experimentalmente, obtuvimos que el circuito completo demanda una corriente de aproximadamente 1 A.

De acuerdo con esto, proponemos el siguiente circuito :

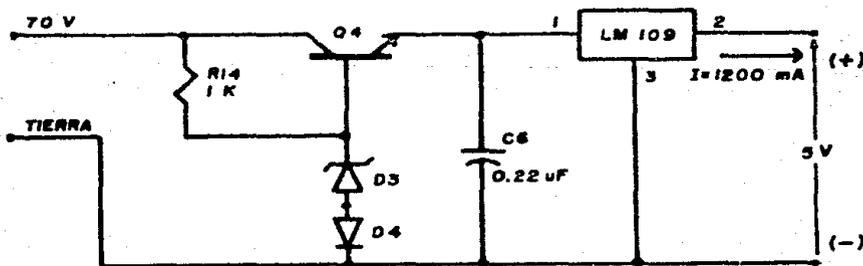


Figura 3.22 Fuente de alimentación.

La fuente está constituida por un regulador de dos etapas.

Se hizo de dos etapas porque comercialmente no hay regula

dores integrados que permitan un voltaje tan alto en la entrada. Por otro lado, si se hubiera hecho con un diodo zener y un transistor, la potencia en el transistor y en la resistencia hubiera sido muy grande.

Diseño :

El valor del voltaje del diodo zener D3 se fija a 25 V, por lo que :

$$V_{R14} = 70 - V_{D3} = 70 - 25 = 45 \text{ V}$$

$$I_{Zmfn} = 20 \text{ mA} \quad (\text{dato del fabricante})$$

$$I_{B4} = \frac{I_{E4}}{\beta + 1}$$

Como se trata de un transistor de potencia, suponemos una  $\beta$  de 40.

$$I_{B4} = \frac{1200 \text{ mA}}{40 + 1} = 30 \text{ mA}$$

$$I_{R14} = I_{B4} + I_{Zmfn} = 30 + 20 = 50 \text{ mA}$$

$$R14 = \frac{V_{R14}}{I_{R14}} = \frac{45 \text{ V}}{50 \text{ mA}} = 0.9 \text{ K}\Omega$$

$$P_{R14} = I_{R14} V_{R14} = (50 \text{ mA})(45 \text{ V}) = 2250 \text{ mW}$$

Comercialmente :

$$\underline{R14 = 1 \text{ K}\Omega \text{ a } 5 \text{ W}}$$

Además :

$$I_{C4} = \left( \frac{\beta}{\beta + 1} \right) I_{E4} = \left( \frac{40}{41} \right) 1200 \text{ mA} = 1170 \text{ mA}$$

$$V_{E4} = V_{D3} - V_{BE4} + V_{D4} = V_{D3} = 25 \text{ V}$$

$$V_{CE4} = V_{C4} - V_{E4} = 70 - 25 = 45 \text{ V}$$

$$P_{Q4} = I_{C4} V_{CE4} = (1170 \text{ mA})(45 \text{ V}) = 54000 \text{ mW} = 54 \text{ W}$$

Uno de los transistores que cumple con los datos requeridos es el transistor TIP 33C cuyos datos son :

- $P_T = 80 \text{ W.}$
- $V_{CE} = 80 \text{ V.}$
- $I_C$  hasta 10 A.
- $20 < \beta < 100.$

Para el diodo zener D3, se tiene :

$$P_{D3} = I_{D3\text{m}\acute{a}\text{x}} V_{D3}$$

$$I_{D3\text{m}\acute{a}\text{x}} = I_{R14} = 50 \text{ mA} \quad (\text{cuando no hay carga})$$

$$P_{D3} = (50 \text{ mA})(25 \text{ V}) = 1250 \text{ mW}$$

Comercialmente :

$$\underline{D3 = 25 \text{ V a } 2 \text{ W}}$$

Por otro lado, como la temperatura donde estará colocado el control es alta y para un diodo zener de silicio el incremento del voltaje respecto al aumento de temperatura es de :

$$\frac{\Delta V_Z}{\Delta T} = + 2.5 \frac{\text{mV}}{^\circ\text{C}}$$

Para contrarrestar este efecto, colocamos un diodo D4 también de silicio, dado que para el se tiene :

$$\frac{\Delta V_{D4}}{\Delta T} = - 2 \frac{\text{mV}}{^\circ\text{C}}$$

Y con ello logramos que el incremento de temperatura no afecte el funcionamiento del regulador.

Por lo que se refiere al regulador integrado, se tiene :

El voltaje de entrada es :

$$V_i = V_{D3} - V_{BE4} + V_{D4} = V_{D3} = 25 \text{ V}$$

Por lo que debemos buscar un regulador que permita este nivel de voltaje y maneje una corriente de por lo menos 1 A.

El circuito regulador LM 109 tiene como características :

- $V_i < 35 \text{ V}$ .
- $I_o = 1.5 \text{ A}$ .
- Temperatura de operación de  $-55$  a  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Las cuales cumplen con las requeridas.

El capacitor C6, se requiere para asegurar una operación estable. Este deberá ser de 0.22 uF si es de cerámica, de 2 uF o mayor si es de tantalio y de 25 uF o mayor si es un capacitor electrolítico de aluminio. Según recomendaciones del fabricante del circuito regulador LM 109.

### 3.9 CALCULO Y SELECCION DE LOS DISIPADORES ADECUADOS.

Tanto el transistor Q4, como el circuito regulador LM 109 de la fuente de alimentación, requieren de su adecuado disipador debido a la cantidad de energía que manejan. Por lo que en los siguientes párrafos se tratará el cálculo y selección de los mismos.

#### GENERALIDADES.

Para obtener un producto confiable y libre de fallas en su operación, es indispensable tener un conjunto semiconductor-disipador bien diseñado, que mantenga su temperatura dentro de los límites adecuados.

Para lograr una estabilidad térmica dentro de un sistema, es necesario que este sea capaz de disipar más calor que el generado en el mismo, o sea que, el calor generado sea menor que la conductividad térmica del punto más caliente al ambiente.

Matemáticamente las condiciones para estabilidad son :

$$\frac{dT_j}{dP_d} < \theta_{ja} \quad (1)$$

Donde

$dT_j/dP_d$  : Es el cambio unitario de temperatura por unidad de potencia disipada.

$\theta_{ja}$  : Es la resistencia térmica de la unión al ambiente.

#### FORMULAS RELACIONADAS CON LA TRANSFERENCIA DE CALOR.

##### a) Potencia disipada.

La ecuación básica para la transferencia de calor es :

$$P_d = h A \Delta T \quad (2)$$

Donde

$P_d$  : Potencia disipada en (watts).

$h$  : Coeficiente de transmisión del calor (watts/cm<sup>2</sup>°C).

$A$  : Area involucrada en la transferencia (cm<sup>2</sup>).

$\Delta T$  : Diferencia de temperatura entre los puntos en que se desea calcular la transferencia del calor (°C).

##### b) Resistencia térmica.

La resistencia térmica es la inversa de la conductividad térmica, y se define como la relación entre la temperatura y la potencia, es decir :

$$\theta = \frac{1}{K} = \frac{\Delta T}{P_d} \quad (3)$$

Donde

- $\theta$  : Resistencia térmica ( $^{\circ}\text{C}/\text{watt}$ ).  
 $K$  : Conductividad térmica ( $\text{watt}/^{\circ}\text{C}$ ).

De las ecuaciones (2) y (3) obtenemos :

$$\theta = \frac{1}{hA} = \frac{\Delta T}{P_d} \quad (4)$$

c) Gradientes de temperatura y resistencias térmicas.

En el conjunto semiconductor-disipador encontramos diferentes gradientes de temperatura que están directamente relacionados con las resistencias térmicas respectivas (figura 3.23), las que pueden expresarse como sigue :

- $\theta_{jc}$  : Entre la unión y la cápsula del semiconductor.  
 $\theta_{cd}$  : Entre la cápsula y el disipador.  
 $\theta_{da}$  : Entre el disipador y el ambiente.  
 $\theta_{ja}$  : Entre la unión y el ambiente.

De donde podemos establecer :

$$\theta_{ja} = \theta_{jc} + \theta_{cd} + \theta_{da} \quad (5)$$

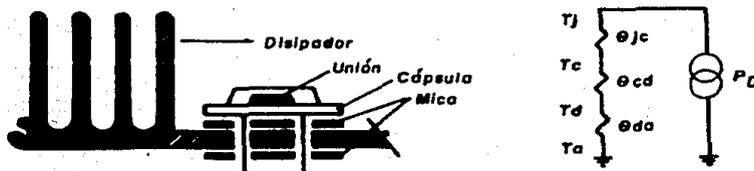


Figura 3.23 Resistencias térmicas en un conjunto semiconductor-disipador.

- $\theta$  : Resistencia térmica ( $^{\circ}\text{C}/\text{watt}$ ).  
 $K$  : Conductividad térmica ( $\text{watt}/^{\circ}\text{C}$ ).

De las ecuaciones (2) y (3) obtenemos :

$$\theta = \frac{1}{hA} = \frac{\Delta T}{P_d} \quad (4)$$

c) Gradientes de temperatura y resistencias térmicas.

En el conjunto semiconductor-disipador encontramos diferentes gradientes de temperatura que están directamente relacionados con las resistencias térmicas respectivas (figura 3.23), las que pueden expresarse como sigue :

- $\theta_{jc}$  : Entre la unión y la cápsula del semiconductor.  
 $\theta_{cd}$  : Entre la cápsula y el disipador.  
 $\theta_{da}$  : Entre el disipador y el ambiente.  
 $\theta_{ja}$  : Entre la unión y el ambiente.

De donde podemos establecer :

$$\theta_{ja} = \theta_{jc} + \theta_{cd} + \theta_{da} \quad (5)$$

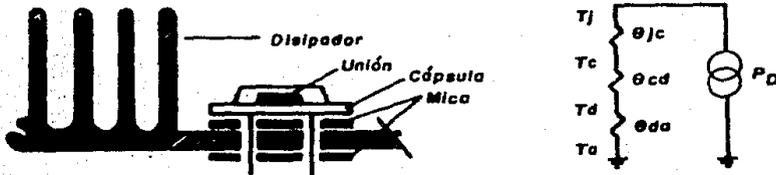


Figura 3.23 Resistencias térmicas en un conjunto semiconductor-disipador.

d) Resistencia térmica del disipador requerido.

Se puede establecer una analogía entre la ecuación (4) y la ley de Ohm, con el propósito de diseñar modelos de flujo de calor (figura 3.23) donde :

$\Delta T$  : Sería análogo al voltaje (V).

$\Theta$  : Sería análogo a la resistencia (R).

$P_d$  : Sería análogo a la intensidad de corriente (I).

El equivalente eléctrico del modelo de la figura 3.23, puede ser analizado por la ley de Kirchoff resultando la siguiente ecuación :

$$\Theta_{da} = \frac{T_j - T_a}{P_d} - \Theta_{jc} - \Theta_{cd} \quad (6)$$

#### INFORMACION REQUERIDA PARA EL CALCULO DE UN DISIPADOR.

Para calcular la resistencia térmica ( $\Theta_{da}$ ) del disipador adecuado para una aplicación específica, se requiere de la siguiente información :

a) Información del fabricante de semiconductores.

$T_{jm\acute{a}x}$  : Temperatura máxima permisible en la juntura ( $^{\circ}C$ ).

$T_{cm\acute{a}x}$  : Temperatura máxima en la cápsula, en una posición específica de ésta, para evitar que la juntura sobrepase la temperatura máxima ( $^{\circ}C$ ).

$\Theta_{jc}$  : Resistencia térmica entre la juntura y la cápsula ( $^{\circ}C/watts$ ).

$P_{dm\acute{a}x}$  : Potencia total a disipar máxima (watts).

- $T_{\text{almac}}$  : Rango de temperatura de almacenamiento del semiconductor ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- Presión : Presión de montaje del semiconductor al disipador (Kgr cm o Lbs pul).
- $V_F$  : Caída de voltaje (V).
- $I_F$  : Corriente medida en el sentido de conducción (A).

b) Información que debe determinar el diseñador del circuito.

- $T_a$  : El valor máximo de temperatura ambiente en que debe operar el semiconductor. Considerar la temperatura dentro del gabinete; temperatura ambiente exterior y la presencia de otros componentes que por conducción o radiación puedan afectar al semiconductor.
- $P_d$  : Potencia a la que el semiconductor va a trabajar en el circuito específico. Deben considerarse tanto el valor promedio como los picos transitorios.

c) Resistencia térmica de la interfaz cápsula-disipador ( $\theta_{cd}$ ).

Debe darse a este factor la verdadera importancia que tiene dentro del conjunto térmico semiconductor-disipador.

Comprende los siguientes aspectos :

- Resistencia térmica de la interfaz.
- Presión de montaje.
- Preparación de las superficies.

### Resistencia térmica de la interfaz.

La resistencia térmica de la interfaz está íntimamente ligada con los otros dos aspectos mencionados. Por ahora consideramos solamente la resistencia térmica de los elementos que forman la interfaz, como son :

- \* Cápsula o base del semiconductor.
- \* Disipador.
- \* Aislante eléctrico.
- \* Grasa de silicón.
- \* Acabado superficial del disipador.

Dicha resistencia se presenta en la figura 3.24.

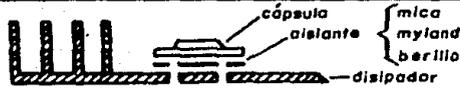
CASO	$\theta_{CD}$ EN $^{\circ}\text{C/W}$
 <p>cápsula disipador</p>	0.6 a 0.9
 <p>cápsula grasa silicón disipador</p>	0.36 a 0.54
 <p>cápsula aislante disipador</p> <p> <span style="font-size: 2em;">}</span> mica  <span style="font-size: 2em;">}</span> myland  <span style="font-size: 2em;">}</span> berillo         </p>	0.6 a 0.9
 <p>cápsula grasa aislante grasa disipador</p>	0.36 a 0.54
Si la superficie del disipador está anodizada	Multiplicar el valor del caso anterior aplicable por 1.2
Si la superficie del disipador está pintada	Multiplicar el valor del caso anterior aplicable por 1.4

Figura 3.24 Elementos que forman la resistencia térmica cápsula-disipador.

### Presión de montaje.

La condición de las superficies de los materiales que forman la interfaz es muy importante para lograr un buen contacto entre ellas. Aún una superficie pulida presenta, vista al microscopio, irregularidades que al juntarla con otra superficie reduce el área real de contacto y por lo tanto el área de transmisión de calor. Al aplicar una presión entre las dos superficies los picos de las irregularidades se deforman, permitiendo una área de contacto mayor.

La presión que se debe ejercer está limitada a un valor máximo que depende tanto de la resistencia de la cuerda (si se utilizan tornillos), como de no llegar a deformar la base de la cápsula, lo que podría afectar la unión.

### Preparación de las superficies.

Las superficies de contacto, tanto del semiconductor, como del disipador y del aislante deben revisarse para eliminar rayones o rebabas.

Si el disipador no lleva ningún acabado (anodizado, pintura, etc.) la superficie presentará sin embargo una película muy delgada de óxido de aluminio que debe eliminarse.

Si el disipador lleva algún tipo de acabado también deberá desengrasarse previo al montaje así como tener en cuenta la resistencia térmica de ese acabado en el cálculo.

La aplicación de grasa de silicón de buena calidad es recomendable en todos los casos, pues además de proteger la interfaz de la corrosión, los óxidos metálicos que contiene llenan los huecos debidos a la rugosidad de las superficies, au-

mentando el área real de contacto y por lo tanto la conductividad térmica.

d) Otros factores de importancia.

En la operación de un conjunto térmico existen otros factores que afectan su eficiencia, por lo que deben considerarse en el cálculo térmico correspondiente. Estos factores son:

- Posición y número de semiconductores en el disipador.
- Posición del conjunto disipador dentro del aparato.
- Ventilación forzada.
- Acabado de la superficie del disipador.

Posición y número de semiconductores en el disipador.

En la figura 3.25 se muestra la posición adecuada de uno o más semiconductores en un mismo disipador para lograr una mejor distribución térmica. De acuerdo con pruebas que los fabricantes han realizado, la temperatura de cada semiconductor varía menos de 1 °C de los otros.

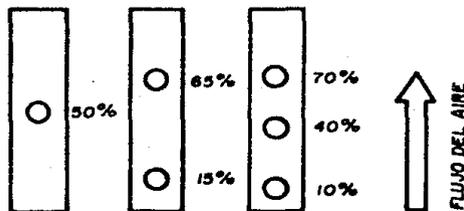


Figura 3.25 Posición adecuada de varios semiconductores en un mismo disipador.

Por otra parte, al montar dos o más semiconductores en un mismo disipador mejoran la eficiencia térmica del conjunto, así como su costo unitario, permitiendo el uso de disipadores menores, para la misma resistencia térmica, como sigue :

# de semiconductores		Factor de corrección $\theta_{da}$
1	multiplicar por	1.00
2	multiplicar por	0.85
3	multiplicar por	0.75

Posición del conjunto disipador dentro del aparato.

La posición más eficiente de un disipador es cuando las aletas se encuentran en posición vertical (a lo largo de la extrusión). Debe existir la posibilidad de un flujo libre de aire desde el exterior del aparato y de abajo hacia arriba, a lo largo de las aletas.

Factor de corrección	Multiplicar $\theta_{da}$ por
Posición vertical	1.00
Posición horizontal	1.20
Diffcil flujo de aire	1.35 a 1.70

Ventilación forzada.

Cuando se establece una corriente forzada de aire por medio de un ventilador, a lo largo del disipador y este flujo está libre de turbulencias (flujo laminar), se produce una transferencia de calor por convección mucho más efectiva, pudiendo lograrse valores de la resistencia térmica hasta un 75% menores que el correspondiente a convección natural. A continuación mostramos una gráfica que indica el factor de corrección para este caso (figura 3.26).

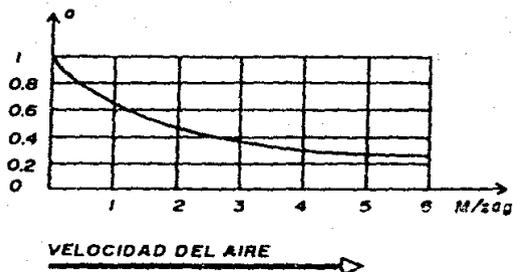


Figura 3.26 Factor de corrección por ventilación forzada.

Donde :  $\theta_f = a \theta_n$

$\theta_f$  : Resistencia del disipador con ventilación forzada.

$\theta_n$  : Resistencia del disipador con convección natural.

a : Factor de corrección.

Acabado de la superficie del disipador.

Se denomina emisividad "e" a la capacidad de la superficie de un cuerpo para radiar calor. Se considera la unidad para el cuerpo negro perfecto. El aluminio tiene los siguientes valores :

Acabado natural pulido	0.05
Anodizado natural o alu-etch	0.15
Anodizado negro o pintado	0.92

Por lo que la resistencia térmica del disipador se debe multiplicar por :

Acabado natural pulido	1.25
Anodizado natural o alu-etch	1.20
Anodizado negro o pintado	1.00

No debe confundirse este factor con el que corresponde a la resistencia por conducción de la interfaz entre el disipador y el semiconductor.

#### CALCULO Y SELECCION DEL DISIPADOR ADECUADO.

De acuerdo con el análisis anterior, se tiene la siguiente ecuación :

$$\theta_{da} = \left( \frac{T_j - T_a}{P_d} - \theta_{jc} - \theta_{cd} \right) \left( \frac{3}{n + p + v} \right)$$

Donde :

- n : Factor de corrección por número de semiconductores en un mismo disipador.
- p : Factor de corrección por posición del conjunto disipador dentro del aparato.
- v : Factor de corrección por ventilación forzada, si no existe, el factor es igual a 1.

Con la información proporcionada por el fabricante del semiconductor, y con aquellos parámetros definidos por el diseñador, seleccionaremos nuestros disipadores.

#### CALCULO DEL DISIPADOR PARA EL TRANSISTOR DE POTENCIA TIP 33C.

La información proporcionada por el fabricante es :

- Resistencia térmica juntura-cápsula  $\theta_{jc} = \underline{1.56 \text{ } ^\circ\text{C/W.}}$
- Temperatura máxima en la juntura  $T_{j\text{máx}} = \underline{150 \text{ } ^\circ\text{C.}}$

Información determinada por nosotros :

- Temperatura ambiente máxima  $T_a = \underline{90 \text{ } ^\circ\text{C.}}$
- Potencia a la que el transistor va a trabajar  
 $P_d = \underline{45 \text{ W}}$  (dato tomado del diseño de la fuente de alimentación).
- Resistencia térmica de la interfaz cápsula-disipador:  
 Decidimos montar el transistor a su disipador con grasa de silicón y aislante, por lo que de acuerdo a la figura 3.24, tenemos :  
 $\theta_{cd} = \underline{0.36 \text{ } ^\circ\text{C/W.}}$

Factores de corrección :

- Usaremos un disipador por semiconductor dado que se trata de semiconductores diferentes. Por lo que :  
 $\underline{n = 1.}$
- La posición del conjunto disipador dentro del aparato será vertical, por lo tanto :  
 $\underline{p = 1.}$
- No existirá ventilación forzada, entonces :  
 $\underline{v = 1.}$

Sustituyendo en la ecuación general, se tiene :

$$\theta_{da} = \left( \frac{150^\circ\text{C} - 90^\circ\text{C}}{45\text{W}} - 1.56 \text{ } ^\circ\text{C/W} - 0.36 \text{ } ^\circ\text{C/W} \right) \left( \frac{3}{1 + 1 + 1} \right)$$

$$= \underline{0.47 \text{ } ^\circ\text{C/W.}}$$

Se ha elegido usar el disipador del tipo mostrado en la figura 3.27, donde se puede observar que el tamaño del mismo es de aproximadamente 150 mm.

#### CALCULO DEL DISIPADOR PARA EL CIRCUITO REGULADOR LM 109.

La información proporcionada por el fabricante es :

- Resistencia térmica juntura-cápsula  $\theta_{jc} = \underline{3 \text{ } ^\circ\text{C/W.}}$
- Temperatura máxima en la juntura  $T_{jm\acute{a}x} = \underline{150 \text{ } ^\circ\text{C.}}$

Información determinada por nosotros :

- Temperatura ambiente máxima  $T_a = \underline{90 \text{ } ^\circ\text{C.}}$
- Potencia a la que el circuito va a trabajar :  

$$P_d = (V_i - V_o) I_o = (25 \text{ V} - 5 \text{ V})(0.8 \text{ A}) = \underline{16 \text{ W.}}$$
- Resistencia térmica de la interfaz cápsula-disipador:  
 Al igual que en el transistor, se usó grasa de sílicón y aislante, por lo que de acuerdo a la figura 3.24, tenemos :  

$$\theta_{cd} = \underline{0.36 \text{ } ^\circ\text{C/W.}}$$

Factores de corrección :

- Usaremos un disipador por semiconductor, por lo que :  

$$\underline{n = 1.}$$
- La posición del conjunto será vertical, entonces :  

$$\underline{p = 1.}$$
- No hay ventilación forzada, por lo que :  

$$\underline{v = 1.}$$

Sustituyendo en la ecuación general, se tiene :

$$\theta_{da} = \left( \frac{150^{\circ}\text{C} - 90^{\circ}\text{C}}{16\text{W}} - 3^{\circ}\text{C/W} - 0.36^{\circ}\text{C/W} \right) \left( \frac{3}{1 + 1 + 1} \right)$$

$$= \underline{0.45^{\circ}\text{C/W.}}$$

De la figura 3.27, se determinó el tamaño adecuado para este disipador, que resultó ser del mismo que para el TIP 33C, de 150 mm.

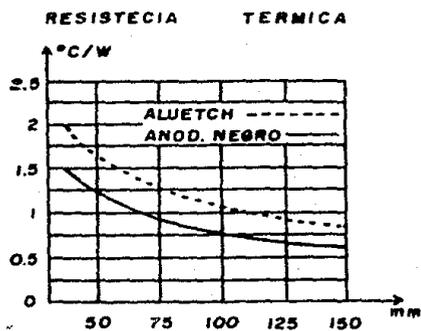
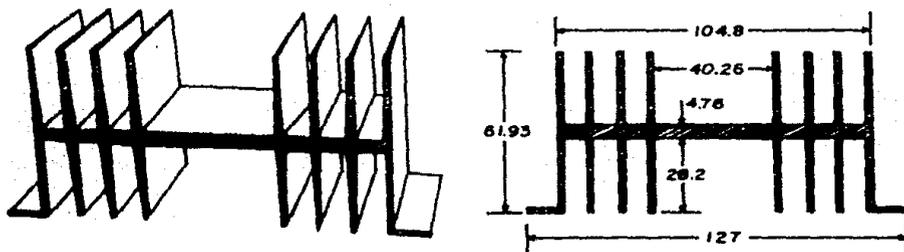
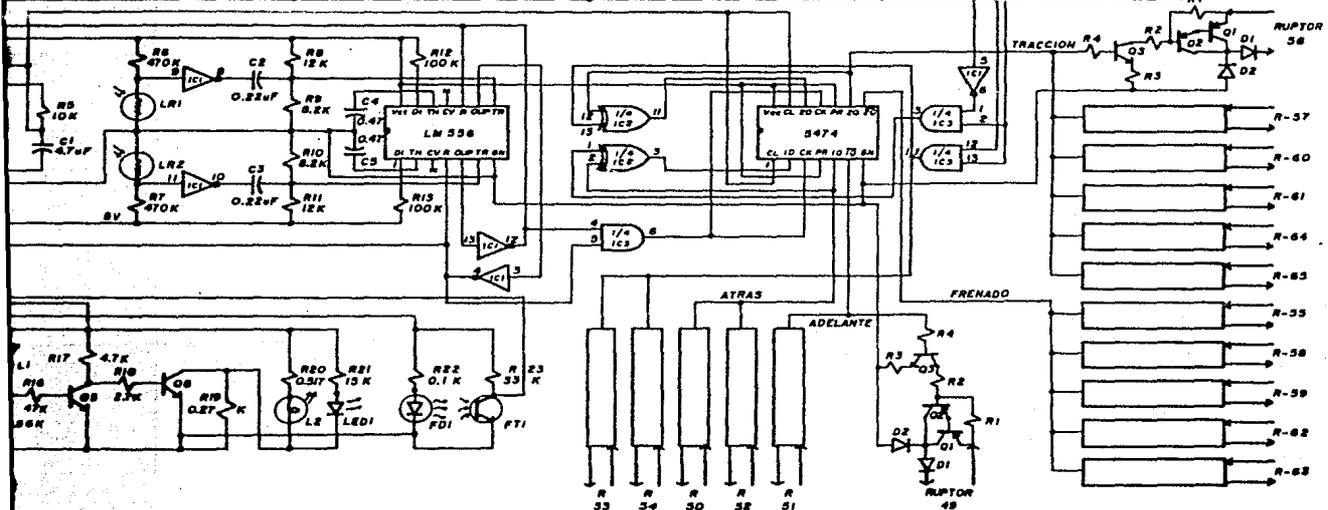
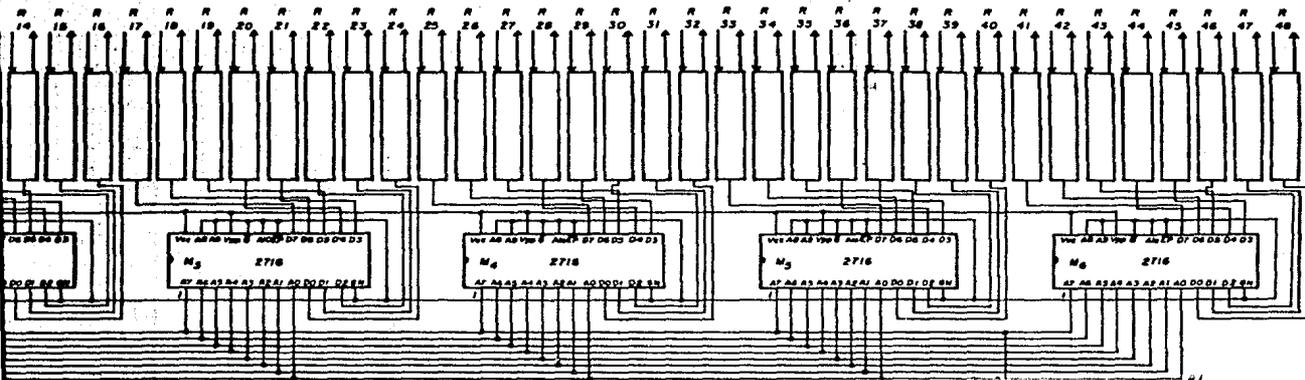


Figura 3.27 Tipo de disipador usado.





**TESIS PROFESIONAL**

FACULTAD DE INGENIERIA  
 JORGE RODRIGUEZ CUEVAS  
 RUBEN M. ROLDAN CHAVEZ

ING. MECANICA ELECTRICA

**UNAM**

**C A P I T U L O 4**

## MONTAJE

### 4.1 DISEÑO DEL CIRCUITO IMPRESO.

Una vez diseñado el circuito del sistema propuesto, se procedió a la realización del circuito impreso. Para ello se consideró el espacio disponible como principal limitante en su diseño.

Como se mencionó anteriormente, el combinador del JH se encuentra localizado en la parte inferior de los carros motrices (M o N), en un compartimiento de aproximadamente 45 cm de largo, por 35 cm de ancho y 25 cm de profundidad.

Esta limitante nos llevó a la conclusión de que el circuito impreso debe ser de doble cara (cara de componentes y cara de soldadura) con la finalidad de aprovechar mejor el espacio disponible.

Para llevar a cabo la realización de la plantilla del circuito impreso, se empleó como herramienta el paquete para computadora PC SMARTWORK de Wintek Corporation.

En el circuito impreso se contempla el hecho de que se tienen que conectar a él los cables que actualmente llegan a los ruptores. Para ello proponemos el uso de conectores de tarjeta (peines o edge connectors) de 22 pistas, que se conecten a nuestro circuito impreso.

Con tal finalidad se dispuso de un espacio, en la plantilla, para conectar los peines, quedandonos la distribución mostrada en la figura 4.1.

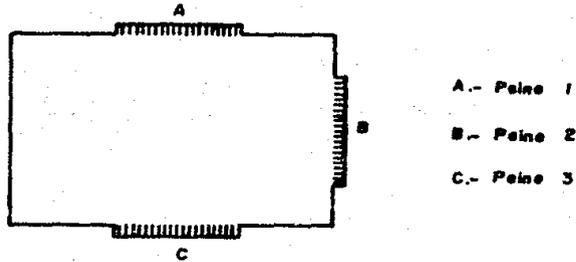


Figura 4.1 Distribución de los peines en el circuito impreso.

Anteriormente se dijo que cuando un raptor es accionado, éste une dos hilos. En la figura 4.2 se muestra qué hilos une cada raptor.

El sentido en el cual fluye la corriente eléctrica es un punto a considerar en la realización de la plantilla del circuito impreso. Para ello adoptamos la convención de que los hilos positivos (+) hagan contacto en la cara de componentes, y los negativos (-) en la cara de soldadura.

RUPTOR	HILOS QUE UNE	COMUN CON EL RUPTOR
1	----->----- 405X	hilo (-)
	-----{	
2	----->----- 423	hilo (+)
	----->----- 422	
	-----{	
3	----->----- 21A	4
	----->----- 423	8
4	----->----- 402A	1
	----->----- 215	11,5,13
5	----->----- 422	6
	----->----- 421	2
6	----->----- 402A	7
	----->----- 215	3,11,13
7	----->----- 424	4
	----->----- 405	8
8	----->----- 421	9,25,27
	----->----- 21A	5
9	----->----- 424	2
	----->----- 405	6
10	----->----- 402P	7
	----->----- 412A (LS)	35,37
11	----->----- 112V	35,21
	----->----- 402	13
12	----->----- 402A	3,5,13
	----->----- J1	
13	----->----- J2	
	----->----- 402	11
14	----->----- 402A	3,5,11
	----->----- T (tierra)	
	----->----- 408	56

Figura 4.2 a) Hilos que une cada ruptor.

RUPTOR	HILOS QUE UNE	COMUN CON EL RUPTOR
15	----->----- T (tierra) ----- [ ] ----- 24P ----- 155B (428-141)	
16	----->----- T (tierra) ----->----- T (tierra) ----- [ ]	
17	----->----- 24S ----->----- 416A ----- [ ]	
18	----->----- 416 ----->----- 112 ----- [ ]	21,41
19	----->----- T (tierra) ----->----- 405B ----- [ ]	22
20	----->----- 405S ----->----- 112 ----- [ ]	19,41
21	----->----- 112V ----->----- 405B ----- [ ]	10,35 20
22	----->----- 405E ----->----- 407E ----- [ ]	29,31,33
23	----->----- 112 ----->----- 8L (129) ----- [ ]	33,53,54
24	----->----- 8K ----->----- 405K ----- [ ]	55
25	----->----- 405 ----->----- 490B ----- [ ]	7,9,27 28,34,40
26	----->----- 415H ----->----- 405D ----- [ ]	
27	----->----- 405 ----->----- 415F ----- [ ]	7,9,25 30,36
28	----->----- 490B ----- [ ]	26,34,40

Figura 4.2 b) Hilos que une cada ruptor.

RUPTOR	HILOS QUE UNE	COMUN CON EL RUPTOR
29	----->----- 407E	23,31,33
	-----[	
30	----->----- 484	31,62
	----->----- 415F	28,36
	-----[	
31	----->----- 490C	32
	----->----- 484A	29,62
	-----[	
32	----->----- 407E	23,29,33
	----->----- 490C	30
	-----[	
33	----->----- 402G	
	----->----- 112	23,53,54
	-----[	
34	----->----- 407E	23,29,31
	----->----- 490B	26,28,40
	-----[	
35	----->----- 402F	
	----->----- 112V	10,21
	-----[	
36	----->----- 412A	37,39
	----->----- 415F	20,28
	-----[	
37	----->----- 490D	38
	----->----- 412A	35,39
	-----[	
38	----->----- 433 (128)	
	----->----- 490D	36
	-----[	
39	----->----- 402H	
	----->----- 482B	
	-----[	
40	----->----- 412A	35,37
	----->----- 490P	
	-----[	
41	----->----- 490B	26,28,34
	----->----- 112 (LS)	19,21
	-----[	
42	----->----- 413T	42,45
	----->----- 405	44
	-----[	
	----->----- 413T	41,45

Figura 4.2 c) Hilos que une cada ruptor.

RUPTOR	HILOS QUE UNE	COMUN CON EL RUPTOR
	----- 405B	
43	----- [	
	----->----- 405S	
	----- 405	42
44	----- [	
	----->----- 405D	
	----- 414D	
45	----- [	
	----->----- 413T	41,42
46	----- [	
	-----	DISPONIBLE
	----->----- T (tierra)	
47	----- [	
	----- 30A (128)	
48	----- [	
	-----	DISPONIBLE
	----->----- 411	50
49	----- [	
	----- 11A	52
	----- 10A	51
50	----- [	
	----->----- 411	49
	----->----- 433B	52
51	----- [	
	----- 10A	50
	----- 11A	49
52	----- [	
	----->----- 433B	51
	----- 484	54,62
53	----- [	
	----->----- 112	23,33,54
	----->----- 112	23,33,53
54	----- [	
	----- 484	53,62
	----- 8C	
55	----- [	
	----->----- 8K	24
	----- 408Q	
56	----- [	
	----- 408	14

Figura 4.2 d) Hilos que une cada ruptor.

RUPTOR	HILOS QUE UNE	COMUN CON EL RUPTOR
57	----- ----- [----- -----	DISPONIBLE
58	----- [----- ----- 115B ----- 115F ----- 482	65
59	----- [----- ----- 480A ----- 113A	64
60	----- [----- ----- 113Y ----- 155	64
61	----- [----- ----- }----- 155D ----- 484	53,54
62	----- [----- ----- 484A	29,31
63	----- [----- ----- 113Y	60
64	----- [----- ----- 113A ----- }----- 481B	60
65	----- [----- ----- 482	59

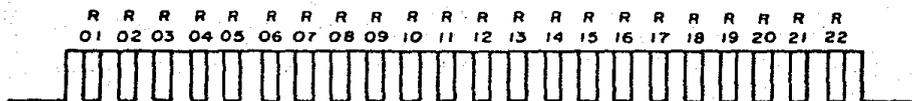
Figura 4.2 e) Hilos que une cada ruptor.

Viendo la cara de componentes, cada peine contiene los ruptores mostrados en la figura 4.3.

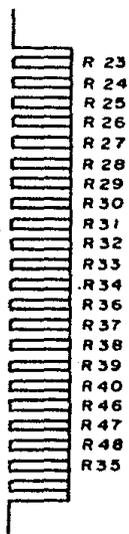
#### 4.2 UBICACION DE LOS DISIPADORES.

Otra parte importante en el montaje del sistema son los disipadores.

El peine 1 contiene :



El peine 2 contiene :



El peine 3 contiene :

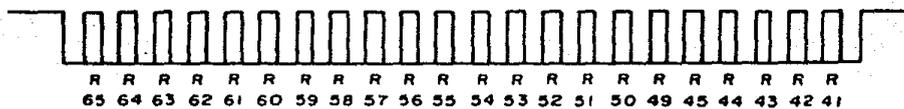


Figura 4.3 Ruptores que contiene cada peine.

Por cuestiones de espacio, los disipadores no se alojarán en la tableta del circuito impreso, obligandonos a ponerlos por separado.

Esto no representa un mayor problema, ya que los disipadores se pueden instalar en el mismo compartimiento en el que estará la tableta del circuito impreso. Recordemos que el espesor es de 25 cm, por lo que sobra espacio para los disipadores (ver figura 4.4).

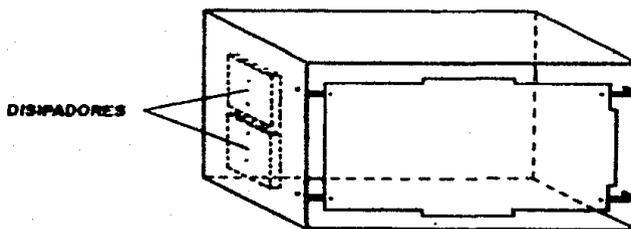


Figura 4.4 Ubicación de los disipadores.

#### 4.3 UBICACION DEL SENSOR OPTICO.

Como ya se mencionó anteriormente, la manera en la cual se va a sensor el sentido de marcha de la rueda dentada es a través de dos foto-resistencias y un circuito que proporcione un haz de luz. Para lo cual se hace necesario montar estos dispositivos cerca de la rueda dentada. La disposición de dicha rueda se ilustra en la figura 4.5.

Para obtener una información adecuada se propone una pequeña estructura para colocar las foto-resistencias y los fo-

cos (ver figura 4.6).

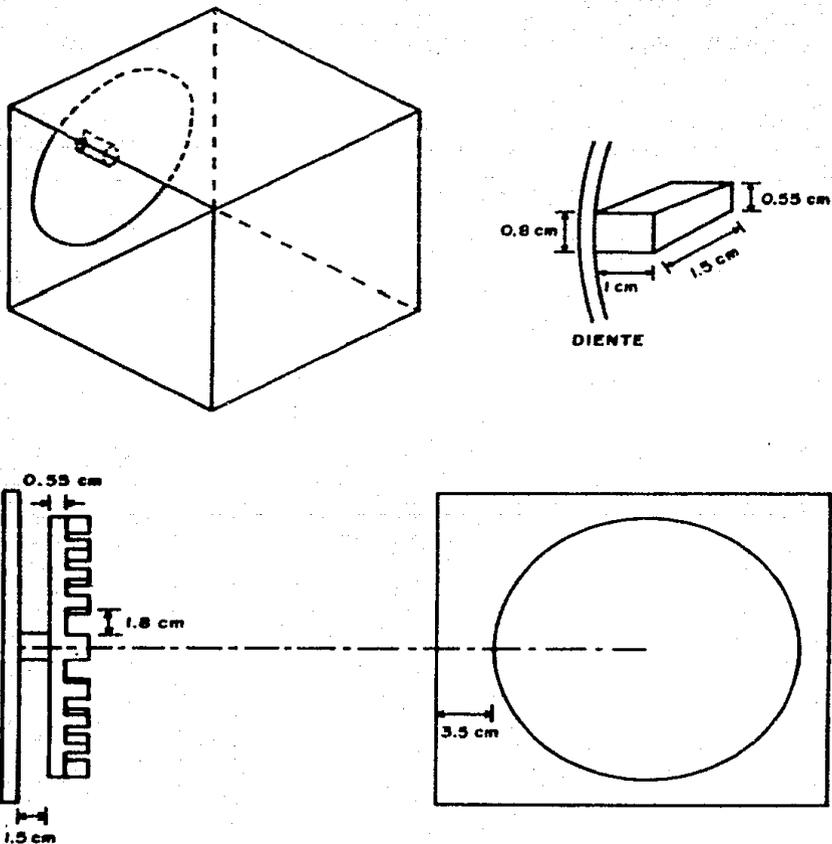


Figura 4.5 Disposición de la rueda dentada.

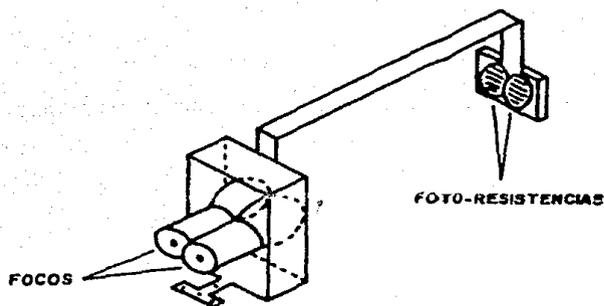


Figura 4.6 Estructura para colocar las foto-resistencias y los focos.

Este dispositivo se instalará de tal manera que las foto-resistencias se encuentren en un claro de diente de la rueda dentada (figura 4.7).

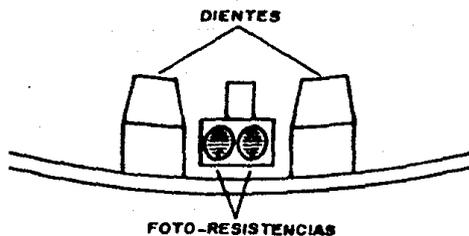


Figura 4.7 Ubicación de las foto-resistencias.

#### 4.4 LOCALIZACION DEL DETECTOR DEL DIENTE CERO.

Como medida de seguridad, cada vez que la rueda dentada llega a la posición del diente cero se sincroniza nuestro con

trol. Para ello se propuso un circuito, que a través de un diodo infrarrojo, un foto-transistor y un material reflejante, se efectuará la sincronización. La manera en la cual se llevará a cabo esto, en mucho depende de la colocación del diodo y del foto-transistor, para ello se propone instalarlos como se muestra en la figura 4.8.

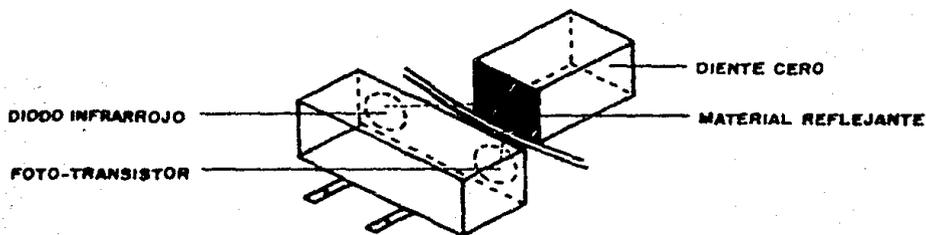
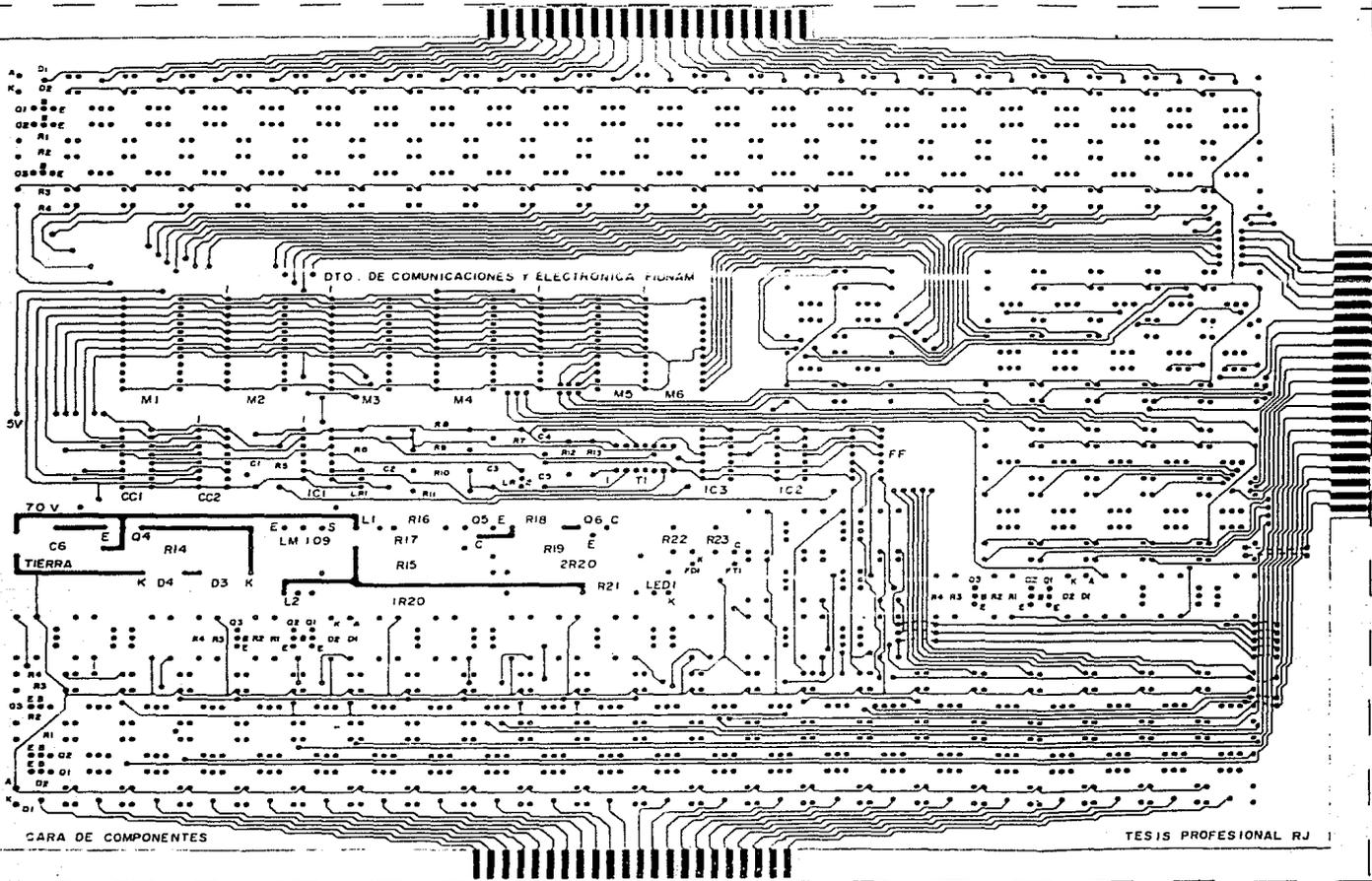
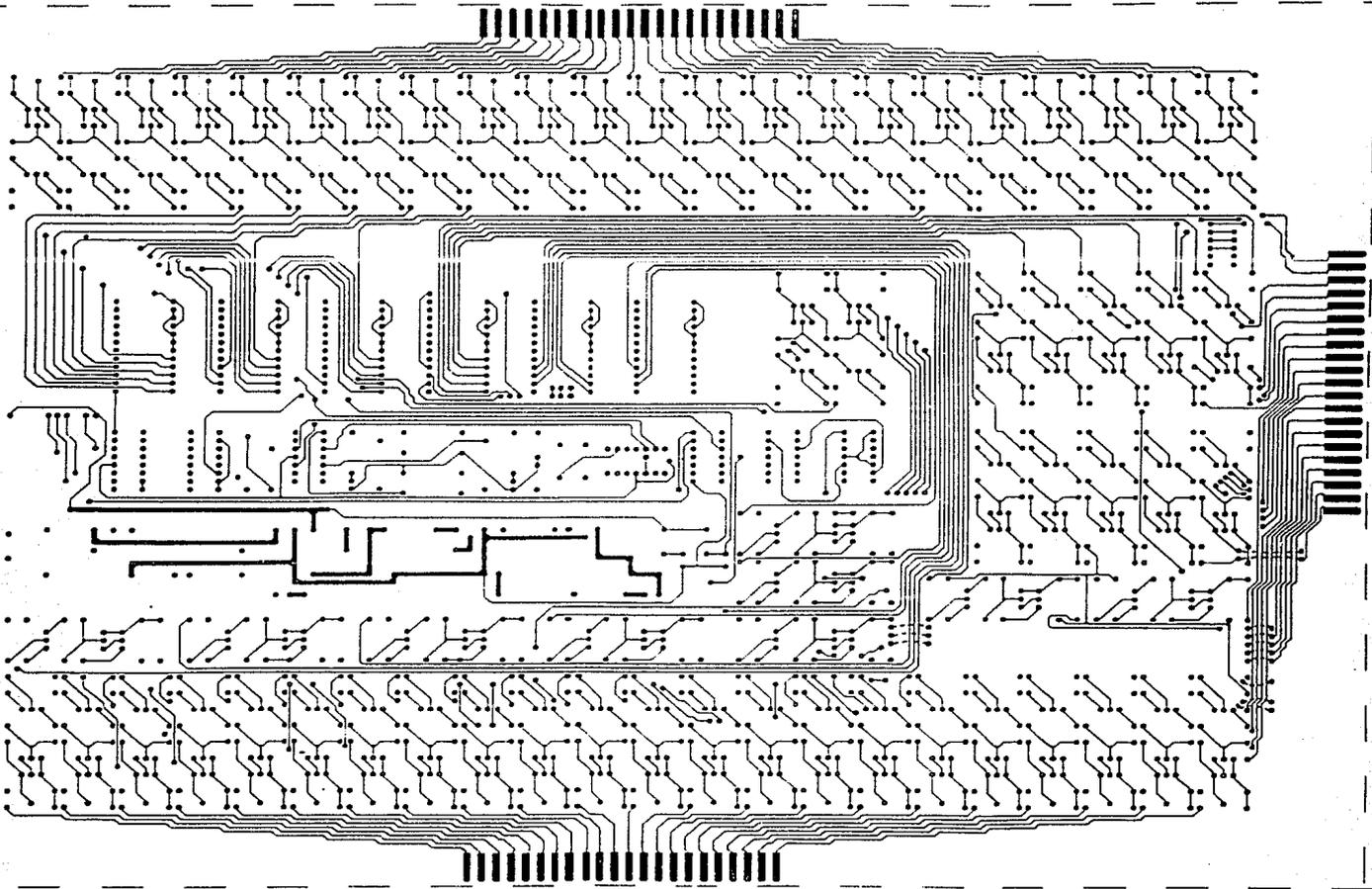


Figura 4.8 Colocación del detector del diente cero.

Es importante hacer notar que el reflejante no necesariamente debe estar sobre la parte externa del diente cero, sino que puede colocarse en cualquier otro diente, siempre y cuando en el momento en el cual coincidan el reflejante, el diodo y el foto-transistor, la rueda esté señalizando el paso cero.





C A P I T U L O 5

## CONCLUSIONES

Como se mencionó anteriormente, el combinador JH es un dispositivo electromecánico sujeto a un desgaste continuo. Es te desgaste se manifiesta con mayor intensidad en los ruptores, que al estar en constante abrir y cerrar, se carbonizan, impidiendo el buen contacto entre sus extremos.

El sistema propuesto en este trabajo surge como respuesta a esta problemática planteada por el STC (metro). En el no se modifica la naturaleza de los ruptores, sino que el sistema en su gran mayoría es integrable con componentes naciona les.

Entonces, podemos enfocar las ventajas de nuestro sistema con respecto al actual, desde dos puntos de vista :

- a) El técnico.
- b) El económico.

a) Desde el punto de vista técnico nuestro sistema presenta mayores ventajas, ya que para su desarrollo fijamos como re- querimientos primordiales, las deficiencias del sistema ac- tual.

El principal problema que se tiene es el de la carbonización de los ruptores; nosotros cambiamos la naturaleza de los ruptores, que pasaron de ser mecánicos a ruptores hechos con componentes de estado sólido. Con lo cual se evita por comple to el problema de la carbonización.

Esto tiene como consecuencia inmediata, el espaciamiento de las labores de mantenimiento que se le dan a esta parte

del tren. Y cada vez que se le proporciona mantenimiento sólo se tendrá que verificar la posición de las foto-resistencias, del foto-transistor, del diodo infrarrojo, de los focos que sirven de enlace entre la rueda dentada y la parte electrónica y limpiar el reflejante que está sobre el diente cero de la rueda dentada.

Con el sistema actual se tienen que limpiar los sesenta y cinco ruptores y cambiar aquellos que ya estén carbonizados cada vez que se les da mantenimiento, lo cual ocurre cada mes.

Otra gran ventaja de nuestro sistema es que en todo momento contempla acciones alternas a posibles fallas. Es decir que las partes más susceptibles de falla, como son los focos, tienen una contraparte que comienza a funcionar en el mismo instante en el cual cesa de funcionar la parte principal, y no solo se limita a continuar su función, sino que mediante un indicador, nos pone en antecedente de que ya estamos trabajando con la parte alterna.

b) Desde el punto de vista económico resulta más barato adquirir un sistema con partes nacionales que importar refacciones desde Francia. Otro aspecto importante por mencionar es que algunas de las refacciones que necesita el sistema actual ya no se fabrican en Francia, y sólo se cuenta con el lote previsto desde su adquisición.

Esto aunado a las ventajas ya mencionadas, nos permite recomendar la sustitución del combinador JH por el sistema propuesto.

El sistema fué probado parte por parte en el banco de

pruebas del STC (metro) donde se simula todo el funcionamiento del equipo de tracción de una motriz, dando los resultados óptimos que se esperaban.

ANEXO

ANEXO

PROGRAMA PARA TRANSFERIR UN BLOQUE DE DATOS DE UNA MEMORIA RAM A UNA MEMORIA EPROM, USANDO EL "Z-80 STARTER KIT".

El programa utiliza el siguiente mapa de memoria :

En la localidad 23C0H : Se tiene el byte alto de la dirección del dato fuente a ser programado.

En la localidad 23C1H : Se tiene el byte bajo de la dirección del dato fuente a ser programado.

En la localidad 23C2H : Se tiene el byte alto de la dirección en la que se desea tener el primer byte a ser programado en la EPROM.

En la localidad 23C3H : Se tiene el byte bajo de la dirección en la que se desea tener el primer byte a ser programado en la EPROM.

En el registro "HL" se tiene el número de bytes a ser programados, en hexadecimal (el byte alto en H). Se usa el modo REG EXAM para inicializar el registro "HL".

El programa se muestra a continuación :

DIR	ENSAMBLADOR	MNEMONICO	COMENTARIOS
2000	3E 01	C12: LD A,01H	
2002	32 DA 23	LD (PRFLG),A	; Fijar la EPROM en modo PROG FLG
2005	E5	PUSH HL	; Byte de cuenta en HL
2006	C1	POP BC	; Salvar el byte de cuenta
2007	E5	PUSH HL	
2008	3A C0 23	LD A,(23C0H)	; Se carga en el acumulador el byte alto de la dirección del dato fuente
200B	67	LD H,A	
200C	3A C1 23	LD A,(23C1H)	
200F	6F	LD L,A	
2010	3A C2 23	LD A,(23C2H)	; Se carga en el acumulador el byte alto de la dirección del primer byte en la EPROM
2013	57	LD D,A	
2014	3A C3 23	LD A,(23C3H)	
2017	5F	LD E,A	
2018	3E 25	C12A: LD A,25H	; Habilitar el CTC para 25 ms
201A	D3 86	OUT (86H),A	; ZC/TO, no interrupción
201C	3E CB	LD A,CBH	
201E	D3 86	OUT (86H),A	; Constante de tiempo
2020	3E 80	LD A,80H	; Limpiar despliegue
2022	D3 8C	OUT (DIGLH),A	; EPROM en PROG EN = 1
2024	ED A0	LDI	; Insertar un tiempo de espera

DIR	ENSAMBLADOR	MNEMONICO	COMENTARIOS
2026	3E 00	LD A,00H	
2028	D3 8C	OUT (DIGLH),A	; Limpia EPROM PROG EN
202A	3E 03	LD A,03H	; Reposición del CTC2
202C	D3 86	OUT (86H),A	
202E	EA 18 23	JP PE,C12A	; Regresa si BC-1 no es cero
2031	C1	POP BC	; Realmacena el byte de cuenta
2032	3A C0 23	LD A,(23C0H)	
2035	67	LD H,A	
2036	3A C1 23	LD A,(23C1H)	
2039	6F	LD L,A	
203A	3A C2 23	LD A,(23C2H)	
203D	57	LD D,A	
203E	3A C3 23	LD A,(23C3H)	
2041	5F	LD E,A	
2042	C3 04 06	JP CCS12B	; Usar el código de ROM

Nota : El programa fué tomado del manual de operación del  
Z-80 Starter System.

**B I B L I O G R A F I A**

**BIBLIOGRAFIA****LIBROS.**

1. An Engineering Approach to Digital Design  
Fletcher and William I.  
Prentice Hall, Inc 1980.
2. Electronic Circuit Discrete and Integrated  
Schilling and Belove  
Mc Graw Hill, Second Edition 1981.

**MANUALES.**

1. The TTL Data Book For Design Engineers  
Texas Instruments Incorporated  
Second Edition 1981.
2. Linear Data Book  
National Semiconductor  
1980.
3. Memory Data Manual  
Motorola Incorporated  
1982.
4. Optoelectronic Device Data  
Motorola Incorporated  
Second Edition 1981

5. Voltage Regulator Handbook  
National Semiconductor  
1980.
6. Manual de Semiconductores de Silicio  
Texas Instruments  
Edición Técnica 84/85.
7. Z-80 Starter System  
Operations Manual  
1979.
8. Disipadores Electrónicos S.A  
Desa, 1985.

**REVISTA.**

1. Popular Electronics  
January 1977.

**NOTAS.**

1. Vehículos Guiados Sobre Neumáticos (Equipo de Control)  
STC (Metro).
2. Grupo Tracción-Frenado  
STC (Metro).
3. Mando Local del Combinador de Arranque  
STC (Metro).